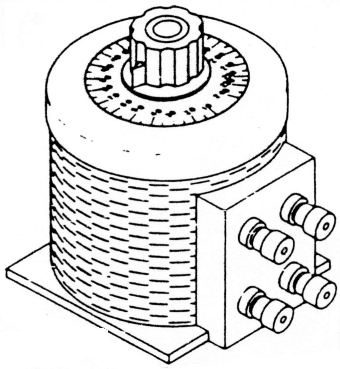
FIRJAN
CIRJ
SESI
SENAI
IEL

ELETRÔNICA BÁSICA

Volume 1 - Eletricidade

Versão preliminar



SENAI-RJ

FIRJAN
CIRJ
SESI
SENAI
IEL

ELETRÔNICA BÁSICA

Volume 1 - Eletricidade

Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
Eduardo Eugenio Gouvêa Vieira
Presidente

Diretoria Corporativa Operacional
Augusto Cesar Franco de Alencar
Diretor

Diretor Regional do SENAI-RJ
Fernando Sampaio Alves Guimarães
Diretor

Diretoria de Educação
Andréa Marinho de Souza Franco
Diretora

FIRJAN
CIRJ
SESI
SENAI
IEL

ELETRÔNICA BÁSICA

SENAI-RJ
Rio de Janeiro
2004

Eletrônica Básica
2004

SENAI-Rio de Janeiro
Diretoria de Educação

FICHA TÉCNICA

Gerência de Educação Profissional	Luis Roberto Arruda
Gerência de Produto	Paulo Cezar Aguiar
Coordenação	Vera Regina Costa Abreu
Pesquisa de Conteúdo	Bruno Souza Gomes / Jorge Moreira
Revisão Pedagógica e Gramatical	Izabel Maria de Freitas Sodré
Revisão Editorial	Izabel Maria de Freitas Sodré
Projeto Gráfico	Artae Design & Criação
Editoração	Conexão Gravatá Ltda.

SENAI-RJ
GEP– Gerência de Educação Profissional

Rua Mariz e Barros, 678 – Tijuca
20270-903 – Rio de Janeiro
Tel.:(21)2587.1117
Fax:(21)2254.2884
http://www.rj.senai.br
GEP@rj.senai.br

Sumário

1 **GRANDEZAS ELÉTRICAS** 20

Matéria 23
Estrutura da matéria: moléculas e átomos 23

Grandezas elétricas: tensão 32
Eletrização de um corpo 33
Eletrização por atrito 34
Atração e repulsão entre cargas elétricas 36
Potencial elétrico 36
Relação entre desequilíbrio e potencial elétrico 38
Diferença de potencial 39
Unidade de medida de tensão 40

Fontes geradoras de tensão 42
Pilhas 42
Tensão fornecida por uma pilha 45

Corrente elétrica 47
Descargas elétricas 48
Unidade de medida da intensidade da corrente elétrica 49

APLICAÇÃO 50
Corrente elétrica 51

Resistência elétrica 51
Unidade de medida 53
APLICAÇÃO 53

Instrumento de medida 54
Aplicações práticas 54
Materiais condutores e isolantes 54
Materiais condutores 55
Materiais isolantes 57

Circuito elétrico 58
Componentes 58
Simbologia dos componentes de um circuito 60
Interruptores ou chaves 62
Sentido da corrente em um circuito elétrico 64

2 **RESISTORES 66**

Características 67

Simbologia 70

Tipos de resistores 70
Resistores de filme de carbono 71
Resistores de carvão 71
Resistores de fio 72

Código de cores 73
Interpretação do código 73

Resistores ajustáveis 80
Tipos 80
Características 83

Potenciômetros 85
Funcionamento 86
Simbologia 86
Tipos 87
Aplicação dos resistores ajustáveis e potenciômetros 92

3 **LEI DE OHM** 93

Determinação experimental da Lei de Ohm 95

Aplicações da Lei de Ohm 98
APLICAÇÃO 100

Medida de corrente contínua (CC) 102
Instrumentos de medida da intensidade da corrente 102
Conexão do medidor 103

Potência elétrica em corrente contínua 105
Trabalho elétrico 105
Potência elétrica 107
APLICAÇÃO 109
APLICAÇÃO 112

Potência nominal 113
Limite de dissipação de potência 113

Circuitos série de corrente contínua 116
Tensão, corrente e resistência em circuitos série .. 116
APLICAÇÃO 116

Circuitos paralelo de corrente contínua 119
Tensão e corrente em um circuito paralelo 119
APLICAÇÃO 121
Resistências em paralelo 122
APLICAÇÃO 123
Circuito aberto e curto-circuito 126
APLICAÇÃO 127

Divisor de tensão 128
O circuito série como divisor de tensão 129
Divisor de tensão com carga 129
Influência da carga sobre o divisor 131
Dimensionamento do divisor de tensão 132

Circuito de ponte balanceada 133
Configuração do circuito 133
Princípio de funcionamento 134
Pontes comerciais 137

4 **INSTRUMENTOS DE MEDIDAS ELÉTRICAS 139**

Tensão alternada 141
Características 141

Tensão alternada senoidal 146
Valores de pico 146
Valor da tensão de pico a pico da CA senoidal 147
Correspondência entre CA e CC 148

Varivolt 152
Utilização do varivolt 153
Simbologia 155

Medida de tensão CA 155
Instrumentos de medição 155

Introdução ao estudo do osciloscópio 162
O painel e a função dos controles 163
Osciloscópios de duplo traço 172

5 **CAPACITORES** 177

Capacitor – armazenamento de cargas 179
Descarga do capacitor 183

Capacitância 184
APLICAÇÃO 186
Tensão de trabalho 186

Tipos de capacitores 187
Capacitores fixos despolarizados 187
Capacitores ajustáveis 189

Capacitores variáveis.....189
Capacitores eletrolíticos 190
Especificação técnica dos capacitores 194

Teste de isolação do capacitor 196

Comportamento do capacitor em CA 197
Reatância capacitiva 199
APLICAÇÃO 200
APLICAÇÃO 202
Determinação experimental da capacitância de um capacitor 203

6 **INDUTORES E TRANSFORMADORES .....** 204

Magnetismo 207
Imãs naturais 207
Ímãs artificiais 208
Pólos magnéticos de um ímã 208
Origem do magnetismo 209
Interação entre ímãs 211
Campo magnético – linhas de força 212
Campo magnético em um condutor 214
Campo magnético em uma bobina 217
Permeabilidade magnética 219
Magnetismo remanente 221

Indução 222
Auto-indução 223
Indutância 229
Indutores em CA 230
APLICAÇÃO 231

Transformador 231
Princípio de funcionamento 232
Transformadores com mais de um secundário 235

Relação de transformação 236
Tipos de transformadores quanto à relação de transformação 238
Relação de potência dos transformadores 241
APLICAÇÃO 243
Potência em transformadores com mais de um secundário 244
APLICAÇÃO 245
Ligação de transformadores em 110 V e 220 V 245
Transformador para entrada em 110/220 V com primário a três fios 247
Transformador para entrada em 110/220 V com primário a quatro fios 249
Instalação de fusível e chave liga/desliga 252

Identificação dos terminais das bobinas do primário 254
Especificação de transformadores 259
Relação de fase entre as tensões do primário e do secundário 260
Ponto de referência 261
Transformador com derivação central no secundário 262

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 266

Prezado aluno,

Quando você resolveu fazer um curso em nossa instituição, talvez não soubesse que, desse momento em diante, estaria fazendo parte do maior sistema de educação profissional do país: o SENAI. Há mais de sessenta anos, estamos construindo uma história de educação voltada para o desenvolvimento tecnológico da indústria brasileira e da formação profissional de jovens e adultos.

Devido às mudanças ocorridas no modelo produtivo, o trabalhador não pode continuar com uma visão restrita dos postos de trabalho. Hoje, o mercado exigirá de você, além do domínio do conteúdo técnico de sua profissão, competências que lhe permitam decidir com autonomia, proatividade e capacidade de análise, a solução de problemas, a avaliação de resultados e propostas de mudanças no processo do trabalho. Você deverá estar preparado para o exercício de papéis flexíveis e polivalentes, assim como para a cooperação e a interação, o trabalho em equipe e o comprometimento com os resultados.

Acresce, ainda, que a produção constante de novos conhecimentos e tecnologias exigirá de você a atualização contínua de seus conhecimentos profissionais, evidenciando a necessidade de uma formação consistente que lhe proporcione maior adaptabilidade e instrumentos essenciais à auto-aprendizagem.

Essa nova dinâmica do mercado de trabalho vem requerendo que os sistemas de educação se organizem de forma flexível e ágil, motivos esses que levaram o SENAI a criar uma estrutura educacional com o propósito de atender às novas necessidades da indústria, estabelecendo uma formação flexível e modularizada.

Essa formação tornará possível a você, aluno do sistema, voltar e dar continuidade à sua educação, criando seu próprio percurso. Além de toda a infra-estrutura necessária ao seu desenvolvimento, você poderá contar com o apoio técnico-pedagógico da equipe de educação dessa escola do SENAI para orientá-lo em seu trajeto.

Mais do que formar um profissional, estamos buscando formar cidadãos.

Seja bem-vindo!

Andréa Marinho de Souza Franco
Diretora de Educação

Apresentação

A dinâmica social dos tempos de globalização exige dos profissionais atualização constante. Mesmo as áreas tecnológicas de ponta ficam obsoletas em ciclos cada vez mais curtos, trazendo desafios renovados a cada dia, e tendo como conseqüência para a educação a necessidade de encontrar novas e rápidas respostas.

Nesse cenário, impõe-se a educação continuada, exigindo que os profissionais busquem atualização constante durante toda a sua vida – e os docentes e alunos do SENAI/RJ incluem-se nessas novas demandas sociais.

É preciso, pois, promover, tanto para os docentes como para os alunos da educação profissional, as condições que propiciem o desenvolvimento de novas formas de ensinar e aprender, favorecendo o trabalho de equipe, a pesquisa, a iniciativa e a criatividade, entre outros aspectos, ampliando suas possibilidades de atuar com autonomia, de forma competente.

Este material apresenta conceitos essenciais da teoria eletrônica básica, possibilitando a aquisição de conhecimentos fundamentais para o bom desempenho do profissional desta área.

Mas é importante que você utilize outras fontes de consulta, e, principalmente, leia com atenção os folhetos, catálogos ou manuais técnicos do fabricante que especificam as características de cada componente ou equipamento eletrônico.

Assim você estará sempre atento às mudanças e avanços tecnológicos que possam vir a ocorrer nos campos da eletricidade básica, fundamentais para a teoria eletrônica.

Esperamos que os conteúdos aqui abordados sejam úteis ao seu aprendizado e atualização profissional.

Uma palavra inicial

Meio ambiente...

Saúde e segurança no trabalho...

O que é que nós temos a ver com isso?

Antes de iniciarmos o estudo deste material, há dois pontos que merecem destaque : a relação entre o processo produtivo e o meio ambiente, e a questão da saúde e segurança no trabalho.

As indústrias e os negócios são a base da economia moderna. Não só produzem os bens e serviços necessários, como dão acesso a emprego e renda. Mas para atender a essas necessidades, precisam usar recursos e matérias-primas. Os impactos no meio ambiente muito freqüentemente decorrem do tipo de indústria existente no local, do que ela produz e, principalmente, de *como* produz.

É preciso entender que todas as atividades humanas transformam o ambiente. Estamos sempre retirando materiais da natureza, transformando-os e depois jogando o que "sobra" de volta ao ambiente natural. Ao retirar do meio ambiente os materiais necessários para produzir bens, altera-se o equilíbrio dos ecossistemas e arrisca-se ao esgotamento de diversos recursos naturais que não são renováveis ou, quando o são, têm sua renovação prejudicada pela velocidade da extração, superior à capacidade da natureza para se recompor. É necessário fazer planos de curto e longo prazo, para diminuir os impactos que o processo produtivo causa na natureza. Além disso, as indústrias precisam se preocupar com a recomposição da paisagem e ter em mente a saúde dos seus trabalhadores e da população que vive ao seu redor.

Com o crescimento da industrialização e a sua concentração em determinadas áreas, o problema da poluição aumentou e se intensificou. Em relação ao ar e à água, a questão é bastante complexa, pois as emissões poluentes se espalham de um ponto fixo para uma grande região, dependendo dos ventos, do curso da água e das demais condições ambientais, tornando difícil localizar, com precisão, a origem do problema. No entanto, é importante repetir que, ao depositarem os resíduos no solo, ao lançarem efluentes sem tratamento em rios, lagoas e demais corpos hídricos, as indústrias causam danos ao meio ambiente.

O uso indiscriminado dos recursos naturais e a contínua acumulação de lixo mostram a falha básica de nosso sistema produtivo: ele opera em linha reta. Extraem-se matérias-primas através de processos de produção desperdiçadores e que geram subprodutos tóxicos. Fabricam-se produtos de utilidade limitada que, finalmente, viram lixo, o qual se acumula nos aterros. Produzir, consumir e dispensar bens desta forma, obviamente, não é sustentável.

Enquanto os resíduos naturais (que não podem, propriamente, ser chamados de "lixo") são absorvidos e reaproveitados pela natureza, a maioria dos resíduos deixados pelas indústrias não tem aproveitamento para qualquer espécie de organismo vivo e, para alguns, pode até ser fatal. O meio ambiente pode absorver resíduos, redistribuí-los e transformá-los. Mas, da mesma forma que a Terra possui uma capacidade limitada de produzir recursos renováveis, sua capacidade de receber resíduos também é restrita, e a de receber resíduos tóxicos praticamente não existe.

Ganha força, atualmente, a idéia de que as empresas devem ter procedimentos éticos que considerem a preservação do ambiente como uma parte de sua missão. Isto quer dizer que se devem adotar práticas que incluam tal preocupação, introduzindo processos que reduzam o uso de matérias-primas e energia, diminuam os resíduos e impeçam a poluição.

Cada indústria tem suas próprias características. Também se sabe que a conservação de recursos é importante. Deve haver crescente preocupação com a qualidade, durabilidade, possibilidade de consertos e vida útil dos produtos.

As empresas precisam não só continuar reduzindo a poluição, como também buscar novas formas de economizar energia, melhorar os efluentes, reduzir a poluição, o lixo, o uso de matérias-primas. Reciclar e conservar energia são atitudes essenciais no mundo contemporâneo.

É difícil ter uma visão única que seja útil para todas as empresas. Cada uma enfrenta desafios diferentes e pode beneficiar-se de sua própria visão de futuro. Ao olhar para o futuro, nós (o público, as empresas, as cidades e as nações) podemos decidir quais alternativas são mais desejáveis e trabalhar com elas.

Entretanto, é verdade que tanto os indivíduos quanto as instituições só mudarão as suas práticas quando acreditarem que seu novo comportamento lhes trará benefícios – sejam estes financeiros, para sua reputação ou para sua segurança.

A mudança nos hábitos não é uma coisa que possa ser imposta. Dever ser uma escolha de pessoas bem-informadas a favor de bens e serviços sustentáveis. A tarefa é criar condições que melhorem a capacidade de as pessoas escolherem, usarem e disporem de bens e serviços de forma sustentável.

Além dos impactos causados na natureza, diversos são os malefícios à saúde humana provocados pela poluição do ar, dos rios e mares, assim como são inerentes aos processos produtivos alguns riscos à saúde e segurança do trabalhador. Atualmente, acidente do trabalho é uma questão que preocupa os empregadores, empregados e governantes, e as conseqüências acabam afetando a todos.

De um lado, é necessário que os trabalhadores adotem um comportamento seguro no trabalho, usando os equipamentos de proteção individual e coletiva; de outro, cabe aos empregadores prover a empresa com esses equipamentos, orientar quanto ao seu uso, fiscalizar as condições da cadeia produtiva e a adequação dos equipamentos de proteção.

A redução do número de acidentes só será possível à medida que cada um – trabalhador, patrão e governo – assuma, em todas as situações, atitudes preventivas, capazes de resguardar a segurança de todos.

Deve-se considerar, também, que cada indústria possui um sistema produtivo próprio, e, portanto, é necessário analisá-lo em sua especificidade, para determinar seu impacto sobre o meio ambiente, sobre a saúde e os riscos que o sistema oferece à segurança dos trabalhadores, propondo alternativas que possam levar a melhores condições de vida para todos.

Da conscientização, partimos para a ação: cresce, cada vez mais, o número de países, empresas e indivíduos que, já estando conscientizados acerca dessas questões, vêm desenvolvendo ações que contribuem para proteger o meio ambiente e cuidar da nossa saúde. Mas isso ainda não é suficiente... faz-se preciso ampliar tais ações, e a educação é um valioso recurso que pode e deve ser usado em tal direção. Assim, iniciamos este material conversando com você sobre o meio ambiente, saúde e segurança no trabalho, lembrando que, no seu exercício profissional diário, você deve agir de forma harmoniosa com o ambiente, zelando também pela segurança e saúde de todos no trabalho.

Tente responder à pergunta que inicia este texto: meio ambiente, a saúde e a segurança no trabalho – o que é que **eu** tenho a ver com isso? Depois, é partir para a ação. Cada um de nós é responsável. Vamos fazer a nossa parte?

GRANDEZAS ELÉTRICAS

Nesta seção...

Matéria ◀

Grandezas elétricas ◀

Fontes geradoras de tensão ◀

Corrente elétrica ◀

Resistência elétrica ◀

Materiais condutores e isolantes ◀

Circuito elétrico ◀

1

Matéria

O termo "matéria" é empregado genericamente para caracterizar qualquer substância existente na natureza, nos estados sólido, líquido ou gasoso. (Fig.1)

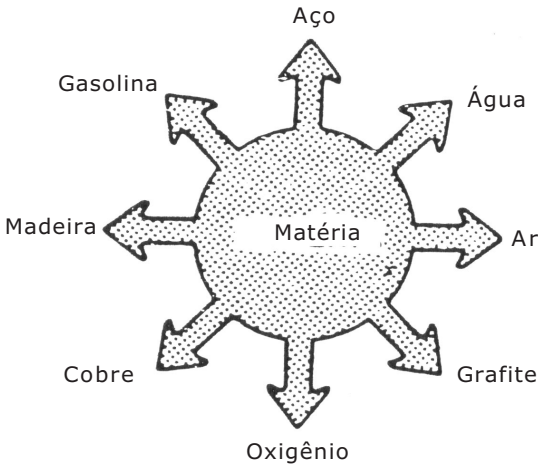


Fig.1

A forma como a matéria se comporta física, química ou eletricamente na natureza depende da sua estrutura.

O conhecimento da estrutura da matéria, em muitas ocasiões, é indispensável para a compreensão do comportamento dos componentes nos circuitos elétricos.

Estrutura da matéria: moléculas e átomos

Qualquer porção da matéria pode ser dividida sucessivamente em partes cada vez menores. Uma grande quantidade de água, por exemplo, pode ser dividida em várias porções cada

uma com um metro cúbico. Cada metro cúbico de água, por sua vez, pode ser dividido em litros, que podem ser divididos em copos ou gotas.

Em qualquer dessas divisões, a quantidade separada continua sendo água. (Fig.2)

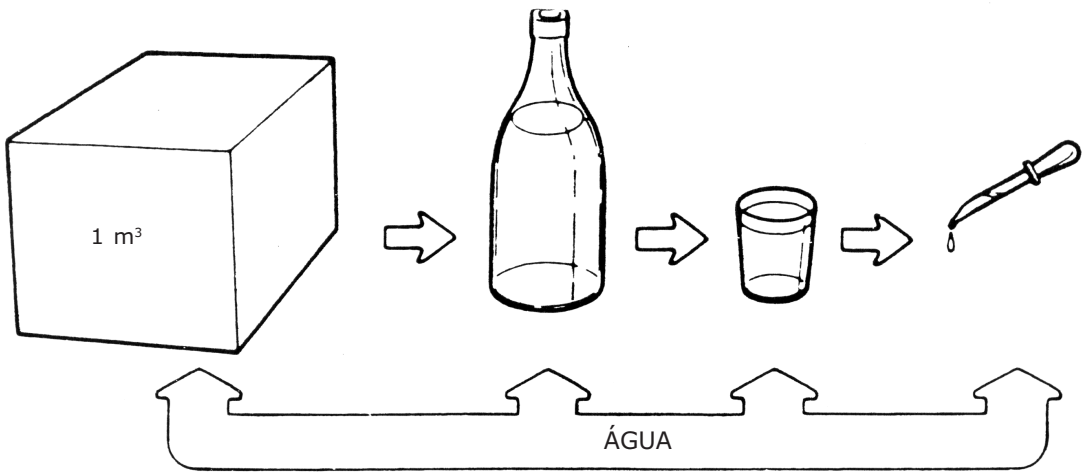


Fig. 2

Com auxílio de equipamentos de laboratório, uma simples gota de água pode ainda ser dividida sucessivamente em muitas pequenas partes, que ainda serão "água". Entretanto, se a divisão sucessiva continuar, em um dado momento acontecerá um fenômeno particular: ao dividir uma porção infinitamente pequena de água, o resultado da divisão deixará de apresentar porções menores de água.

Isto significa que a pequeníssima porção de água que se tinha antes dessa última divisão era a menor porção da substância que ainda tinha as características iniciais. Esta pequena porção é denominada de *molécula*.

A molécula é infinitamente pequena, tão pequena que em 1 litro de oxigênio, por exemplo, existem $2{,}68 \times 10^{20}$ moléculas de oxigênio (26 800000000000000000000).

A situação descrita acima se verifica sob condições definidas, servindo apenas para ilustrar a dimensão de uma molécula.

Todos os materiais ou substâncias com os quais o homem tem contato são constituídos por um número extremamente grande de moléculas.

Constituição da molécula: os átomos

A divisão de uma molécula dá origem a duas ou mais partes menores que podem ser chamadas de "partículas". Estas partículas são os *átomos*.

Considerando que a molécula é muito pequena, conclui-se que suas partículas constituintes, os átomos, são ainda menores. Ilustrando, pode-se afirmar: 100 milhões de átomos, colocados um ao lado do outro, perfazem uma pequena reta da ordem de 10mm.

Através de pesquisas científicas, verificou-se que existem na natureza 87 "tipos" diferentes de átomos. Além deles, existem ainda outros tipos, que são "produzidos" em laboratório mas que são instáveis, existindo durante um curto período de tempo.

Os diversos tipos de átomos são agrupados em uma tabela denominada de *Tabela periódica de elementos químicos.* (Fig.3)

H 1																	He 2
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	Lan-tani-dos	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Ti 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88	Acti-nidos	Ku 104	Ha 105	106	107											

Fig. 3

Na tabela periódica, os elementos químicos são representados por um símbolo:

H : hidrogênio	Fe : ferro
O : oxigênio	Al : alumínio
C : carbono	Mn : manganês
Cu : cobre	In : índio
Si : silício	Li : lítio
Ag : prata	Co : cobalto

Os átomos se reúnem entre si, em diferentes arranjos, dando origem às moléculas de todas as substâncias da natureza.

Um exemplo bastante importante de reunião de átomos na formação de moléculas é a união de dois átomos de hidrogênio com um de oxigênio. A molécula formada, (H_2 O) é a da água. (Fig.4)

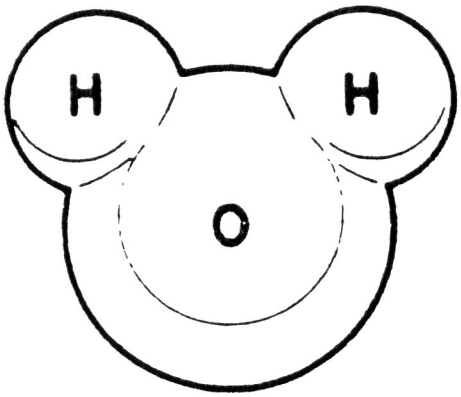


Fig. 4

Estrutura dos átomos

As partículas que constituem as moléculas foram denominadas de átomos pelos gregos, que acreditavam ser esta a menor partícula do universo, e que não podia ser dividida.

Entretanto, com o desenvolvimento dos métodos científicos de pesquisa verificou-se que os átomos também são constituídos por partículas menores: *as partículas subatômicas*, denominadas *prótons*, *elétrons* e *nêutrons*.

Cada uma dessas partículas subatômicas tem características próprias com respeito à carga elétrica e massa.

Em relação à *carga elétrica* das *partículas subatômicas*, pode-se afirmar que
o próton — possui carga elétrica positiva. Por convenção a carga elétrica do próton é +1;
o elétron — tem carga negativa, de mesmo valor que o próton: -1;
o nêutron — é uma partícula subatômica que não tem carga elétrica.

No que diz respeito à *massa das partículas subatômicas* é preciso saber que sendo elas muito pequenas, suas massas não podem ser determinadas em função das unidades normais de massa (quilograma, grama, miligrama, etc.) Por essa razão, convencionou-se uma unidade

específica para definir a massa das partículas subatômicas: a u.m.a. (unidade de massa atômica). Assim:

o próton — tem massa igual a 1 u.m.a. (uma unidade de massa atômica);

o elétron — é muito mais leve que o próton (1836 vezes mais leve). Sua massa é tão pequena que pode ser desprezada no átomo, podendo ser considerada igual a zero;

o nêutron — tem a mesma massa que um próton: 1 u.m.a.

A tabela 1 apresenta um resumo das cargas elétricas e das massas das partículas subatômicas.

Tabela 1

Partículas	Carga elétrica	Massa
próton	+1	1 u.m.a.
elétron	-1	desprezível
nêutron	nenhuma	1 u.m.a.

A estrutura do átomo

A forma como as partículas subatômicas estão organizadas em um átomo em muito se assemelha à configuração do sistema solar do qual a Terra faz parte (Fig.5)

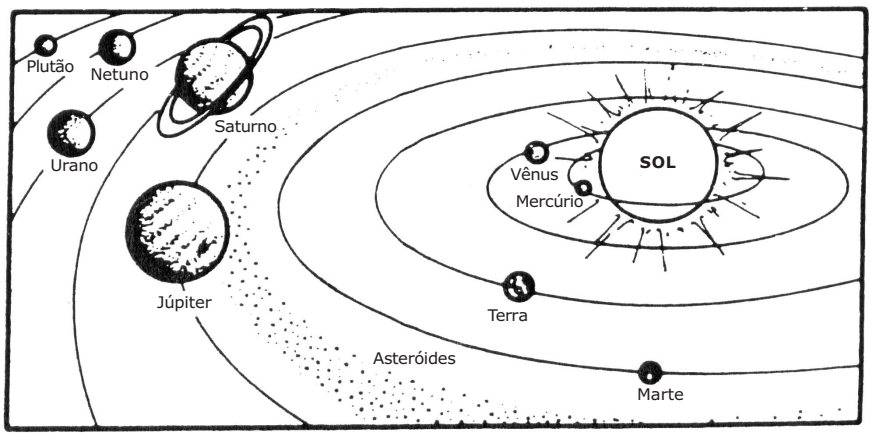


Fig.5

O sistema solar se compõe do Sol, que ocupa a região central ou núcleo do sistema solar, e dos planetas que giram ao seu redor em trajetórias denominadas de órbitas. (Fig. 6)

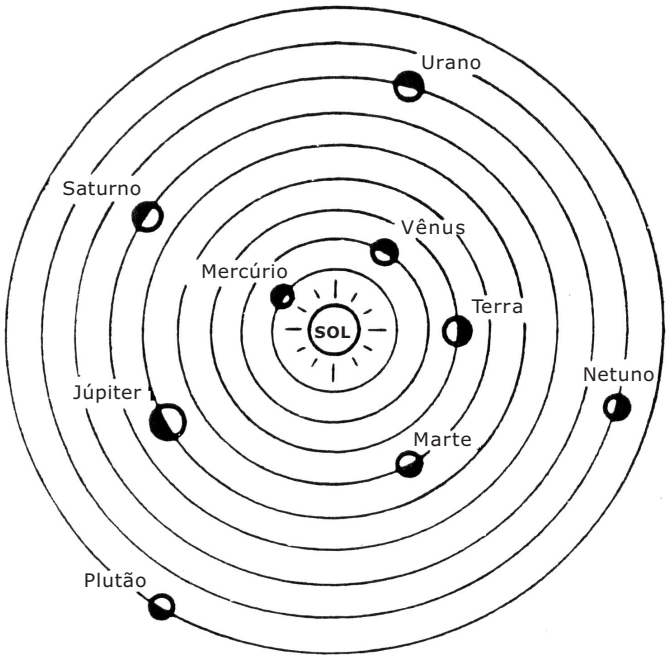


Fig .6

No átomo, os prótons e nêutrons se reúnem na região central, formando o *núcleo* (Figs. 7 e 8)

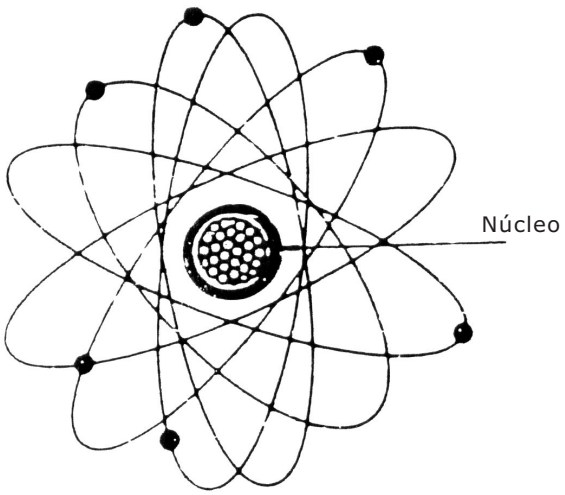
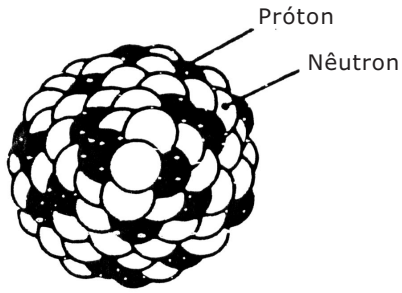


Fig. 7



AMPLIAÇÃO DO NÚCLEO

Fig. 8

Os elétrons, assim como os planetas do sistema solar, giram ao redor do núcleo, descrevendo trajetórias denominadas de órbitas. (Figs. 9 e 10)

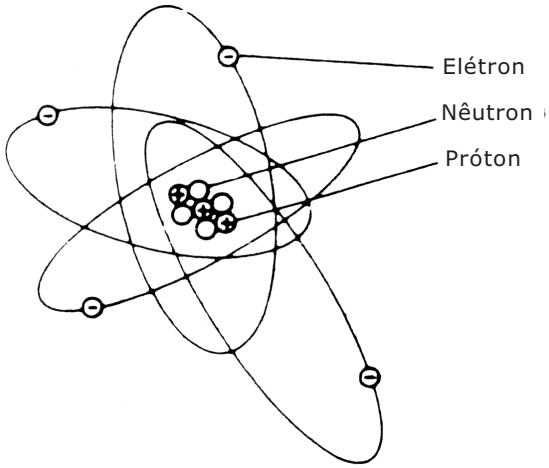


Fig. 9

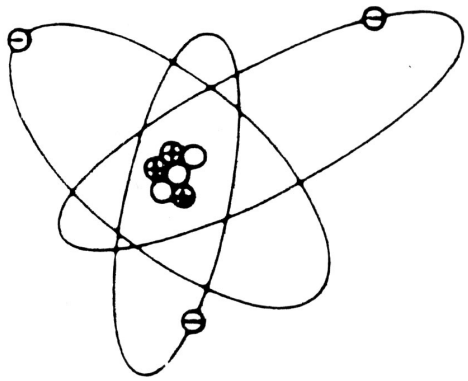


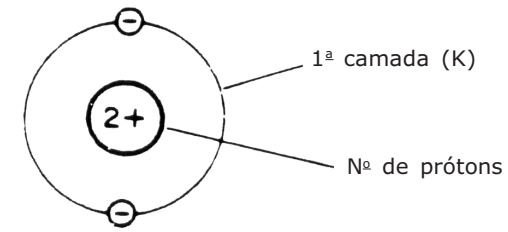
Fig. 10

A região do espaço ao redor do núcleo onde os elétrons se movimentam é denominada de eletrosfera.

Observando o átomo, verifica-se que as partículas que possuem massa (próton e nêutron) estão no núcleo. Por esta razão se pode dizer que

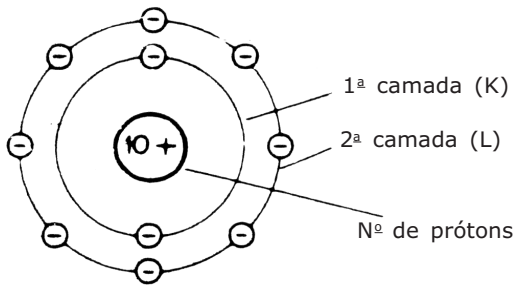
Toda a massa de um átomo está concentrada no seu núcleo.

Os elétrons que orbitam ao redor do núcleo do átomo estão distribuídos em camadas ou níveis energéticos. De acordo com o número de elétrons, a eletrosfera pode apresentar de 1 a 7 níveis energéticos, denominados nível K, L, M, N, O, P e Q. As figuras 11, 12, 13 e 14 mostram os átomos de alguns elementos químicos com a distribuição dos elétrons nas camadas.



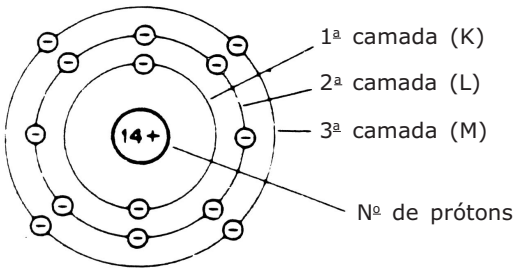
átomo de hélio
(Símbolo químico He)

Fig. 11



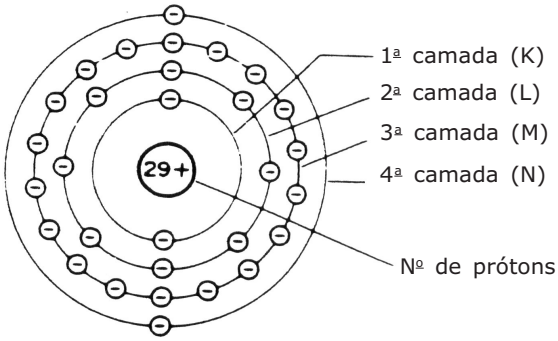
átomo de neônio
(Símbolo químico Ne)

Fig. 12



átomo de silício
(Símbolo químico Si)

Fig. 13

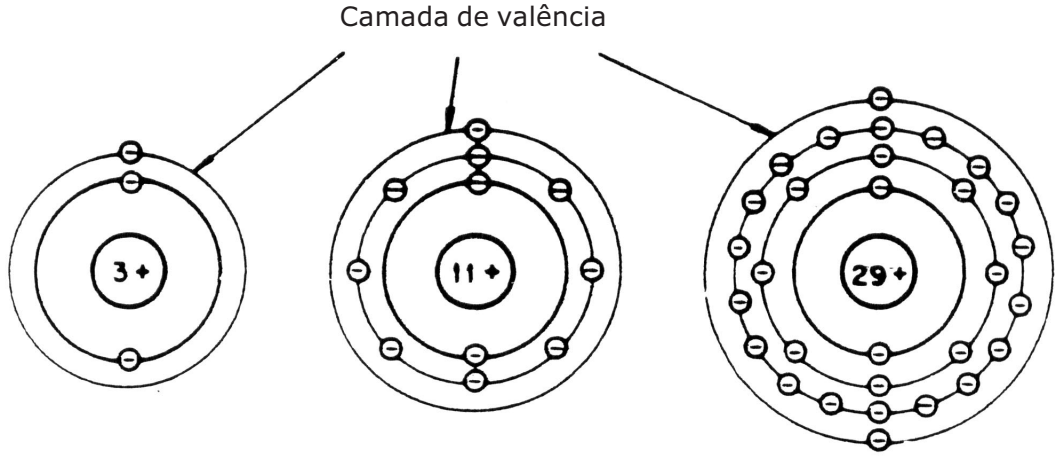


átomo de cobre
(Símbolo químico Cu)

Fig. 14

A distribuição dos elétrons nos diversos níveis obedece a condições definidas. A regra mais importante, em termos de estrutura atômica, com relação a áreas de eletricidade e eletrônica, é a que diz respeito ao nível energético mais distante do núcleo ou camada externa. Esta regra diz: *a camada externa tem um número máximo de 8 elétrons.*

Todas as reações químicas e elétricas (com exceção das reações nucleares) se processam nessa camada, que recebe a denominação de *nível ou camada de valência.* (Fig. 15)



átomo de lítio
(Símbolo químico Li)

átomo de sódio
(Símbolo químico Na)

átomo de cobre
(Símbolo químico Cu)

Fig. 15

O equilíbrio elétrico de um átomo

Duas das três partículas subatômicas possuem carga elétrica (próton = +1 e elétron = -1).

Em condições normais, os átomos tendem a assumir uma condição de neutralidade ou equilíbrio elétrico, de forma que o número total de cargas positivas do núcleo (prótons) é igual ao número de cargas negativas na eletrosfera (elétrons).

Quando a condição de igualdade entre o número de prótons e elétrons existe, diz-se que o átomo está eletricamente neutro ou equilibrado.

Os nêutrons, no núcleo, não interferem no equilíbrio elétrico do átomo (porque não têm carga elétrica). Os nêutrons apenas conferem uma massa adicional aos átomos.

Pode-se citar alguns exemplos de átomos eletricamente equilibrados:

Elemento	Nº de prótons	Nº de elétrons	Carga total de átomos
Hidrogênio	1	1	+1 -1 = 0
Ferro	26	26	+26 -26 = 0
Cobre	29	29	+29 -29 = 0
Alumínio	13	13	+13 -13 = 0

Através de forças externas (magnéticas, térmicas, químicas) é possível retirar ou acrescentar elétrons na camada de valência de um átomo, fazendo com que haja um desequilíbrio elétrico.

Quando, por um processo qualquer, um elétron é retirado da camada de valência, o átomo passa a estar carregado positivamente (1 próton a mais). Este átomo passa a se chamar de íon positivo. (Fig. 16)

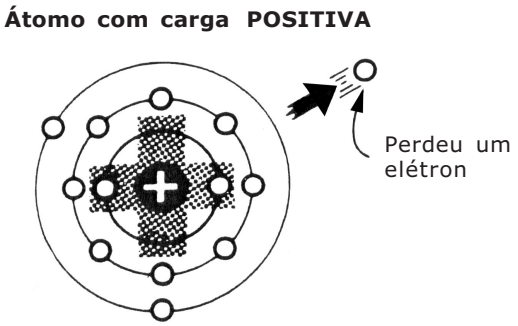


Fig. 16

Da mesma forma, quando um elétron é colocado na última camada de um átomo, por um processo qualquer, esse átomo passa a estar carregado negativamente, denominando-se íon negativo. (Fig.17)

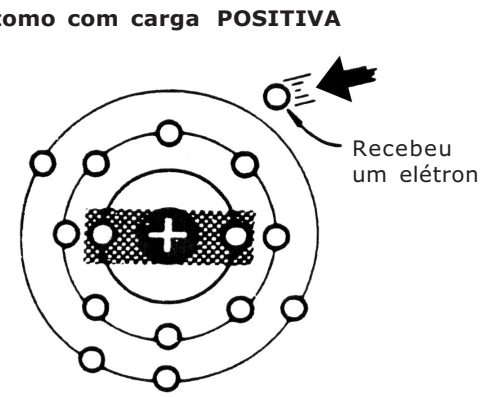


Fig. 17

Qualquer átomo que esteja desequilibrado eletricamente é um íon.

A transformação de um átomo em um íon é sempre devida a causas externas ao próprio átomo. Uma vez cessada a causa externa que proporcionou a criação do íon, há uma tendência natural do átomo em atingir o equilíbrio elétrico, cedendo os elétrons que estiverem em excesso ou recuperando os elétrons que estiverem em falta.

Os átomos sempre procuram atingir a estrutura estável, eletricamente equilibrada.

Grandezas elétricas - tensão

A expressão "grandezas elétricas " se aplica a todos os fenômenos de origem elétrica que podem ser medidos.

A *tensão* é uma grandeza elétrica , que pode ser medida, e que tem origem no desequilíbrio elétrico dos corpos.

É necessária a existência de uma tensão elétrica para que seja possível o funcionamento de qualquer equipamento elétrico (por exemplo: lâmpada, gravador, motor, etc.).

Eletrização de um corpo

No estado natural, qualquer porção de matéria é eletricamente neutra. Isto significa que se nenhum agente externo atua sobre uma determinada porção de matéria, o número total de prótons e elétrons dos seus átomos será igual. (Fig. 18)

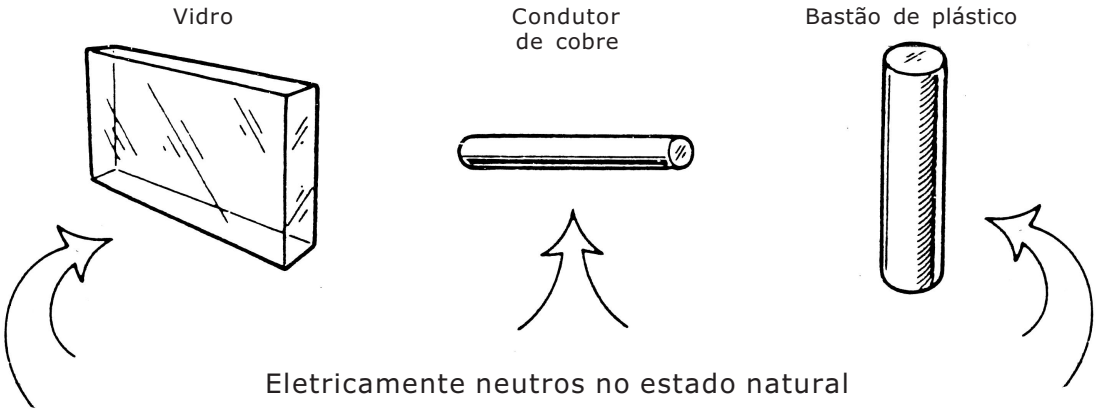


Fig. 18

Essa condição de equilíbrio elétrico natural da matéria pode ser desfeita, de forma que um corpo deixe de ser neutro e fique carregado eletricamente.

O processo através do qual se faz com que um corpo eletricamente neutro fique carregado é denominado de eletrização.

O tipo de carga elétrica (positiva ou negativa) que um corpo assume após sofrer um processo de eletrização depende do tipo de corpo e do processo utilizado.

Os processos de eletrização atuam sempre nos elétrons que estão na última camada dos átomos (camada de valência).

Quando um processo de eletrização *retira elétrons* da camada de valência dos átomos, o material fica com *o número de prótons maior que o número de elétrons*. Nessas condições, o corpo fica eletricamente positivo. (Fig. 19)

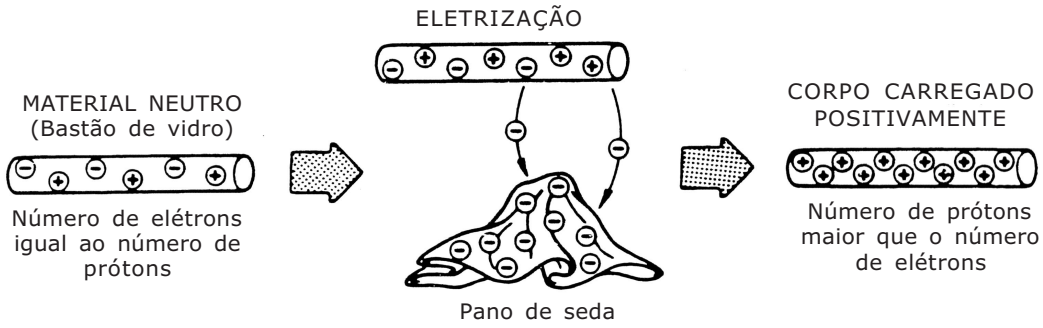


Fig. 19

Quando um processo de eletrização *acrescenta elétrons* em um material, *o número de elétrons torna-se maior que o número de prótons* e o corpo fica carregado negativamente. (Fig. 20)

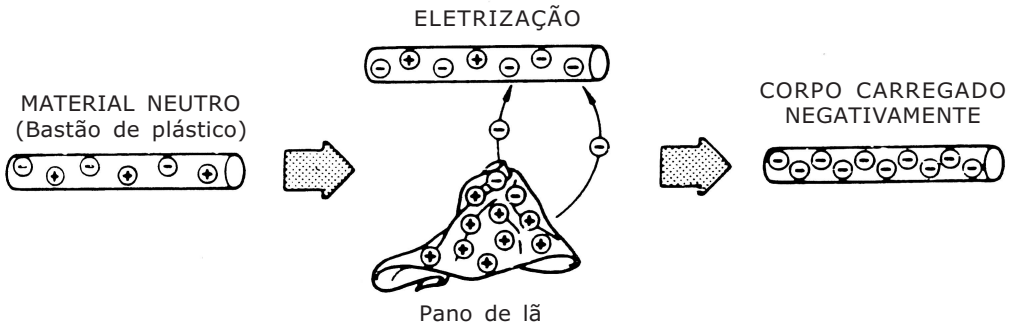


Fig. 20

Eletrização por atrito

Existem vários processos de eletrização, dentre os quais o mais comum é o por *atrito*. A eletrização por atrito é muito comum na natureza. Quando se usa um pente, por exemplo, o atrito com os cabelos provoca uma eletrização positiva no pente (retiram-se elétrons do pente). (Fig. 21)

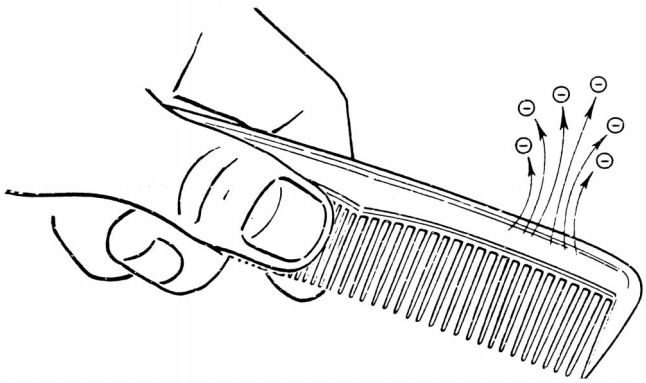


Fig. 21

Aproximando-se o pente eletrizado positivamente de pequenos pedaços de papel, estes são atraídos momentaneamente pelo pente, comprovando a existência da eletrização. (Fig. 22)

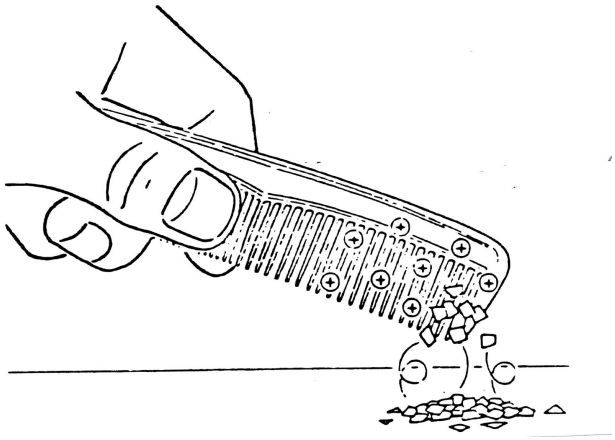


Fig. 22

Outro exemplo muito comum de eletrização por atrito, na natureza, ocorre nas tempestades. As nuvens são atritadas contra o ar, adquirindo uma carga elétrica muito grande.

O relâmpago, que é um fenômeno elétrico, comprova a existência de grandes cargas elétricas nas nuvens. (Fig. 23)

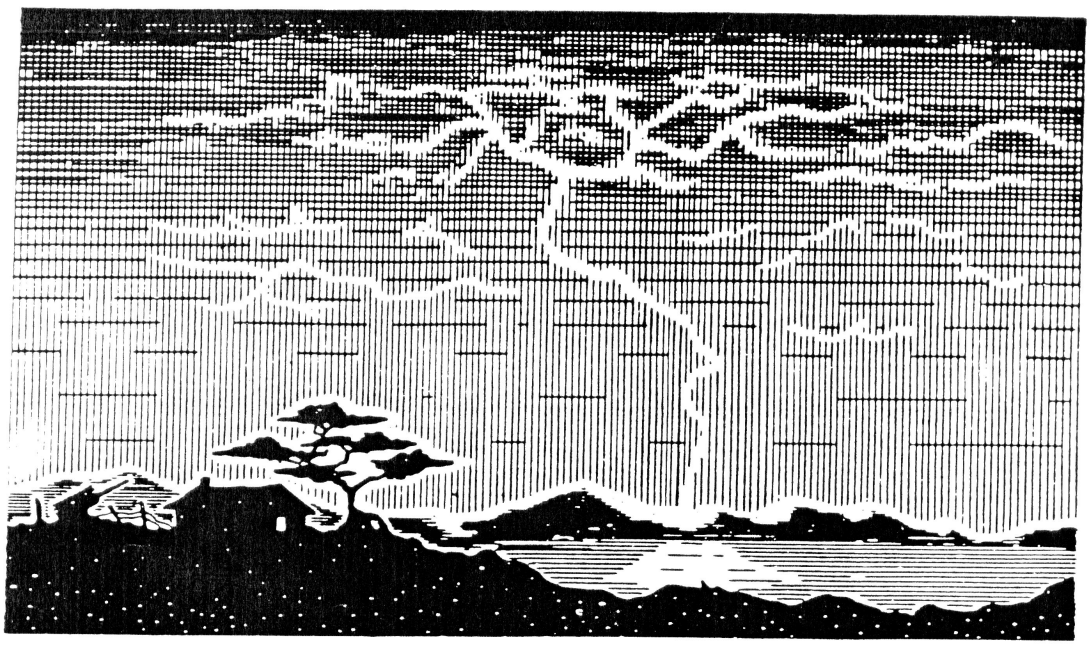


Fig. 23

Existem ainda outros processos de eletrização tais como: *eletrização por indução, por contato, por impacto.*

Em qualquer processo, contudo, o resultado são corpos carregados eletricamente. A carga elétrica de um corpo obtida por eletrização denomina-se *eletricidade estática.*

Atração e repulsão entre as cargas elétricas

Quando dois corpos eletrizados são aproximados um do outro, verifica-se que existe uma reação entre eles.

Através de experimentação, verifica-se que, se um dos corpos está carregado positivamente e o outro, negativamente, existe uma tendência de os dois corpos se atraírem mutuamente.

No entanto, se os dois corpos apresentam cargas de mesmo sinal, eles se repelem. A partir dessas observações, conclui-se

> cargas opostas (+ , -) se atraem.
>
> cargas iguais (+ , +) ou (- , -) se repelem.

A Fig. 24 ilustra a interação entre dois corpos eletrizados.

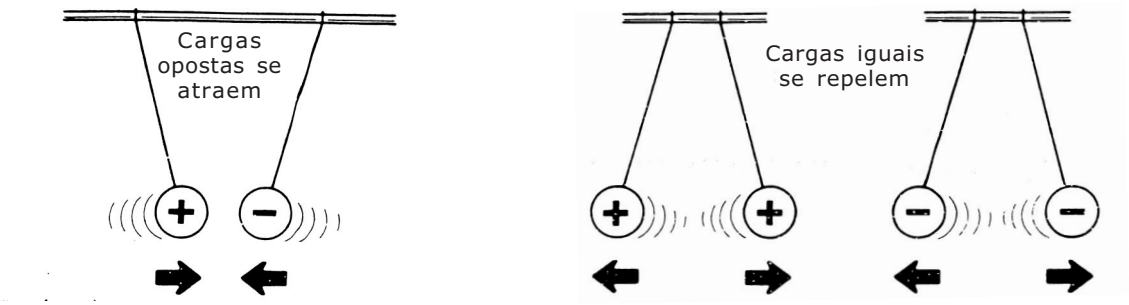


Fig. 24

Potencial elétrico

Tomando-se um pente que não tenha sido atritado, ou seja, sem eletricidade estática, e, aproximando-o de pequenas partículas de papel, não ocorre nenhum fenômeno. (Fig. 25)

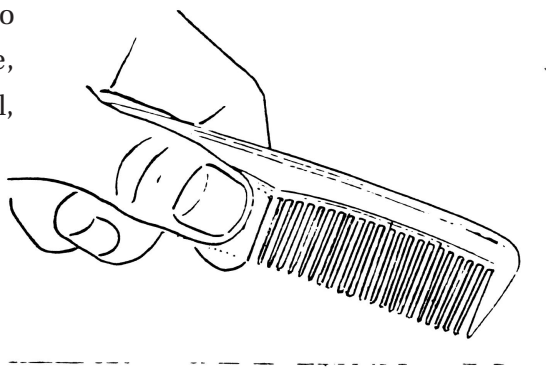


Fig. 25

Entretanto, se o pente for eletrizado, ao aproximá-lo das partículas de papel, essas serão atraídas pelo pente. Isso significa que o pente carregado tem capacidade de realizar o trabalho de movimentar o papel. (Fig. 26)

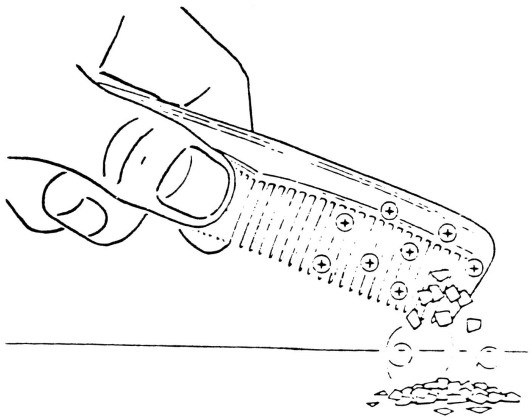


Fig. 26

Quando um corpo adquire capacidade de realizar um trabalho, diz-se que este corpo tem um potencial.

No caso do pente, a capacidade de realizar o trabalho se deve a um desequilíbrio elétrico: seu potencial é denominado de *potencial elétrico*. Generalizando, pode-se afirmar que qualquer corpo eletrizado tem capacidade para realizar um trabalho.

A afirmação também é válida para corpos eletrizados negativamente. Os corpos eletrizados positivamente têm potencial elétrico positivo e os corpos eletrizados negativamente têm potencial elétrico negativo. (Fig. 27)

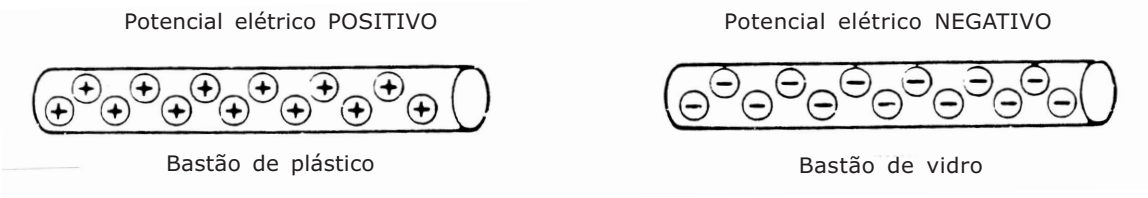
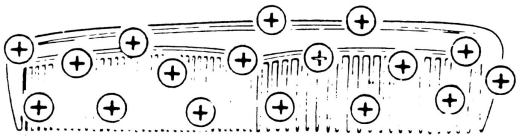


Fig. 27

Relação entre desequilíbrio e potencial elétrico

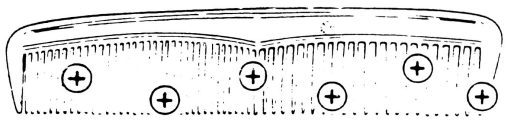
Através dos processos de eletrização, é possível fazer com que os corpos fiquem intensa ou fracamente eletrizados.

Um pente fortemente atritado ficará intensamente eletrizado; se for fracamente atritado, sua eletrização será fraca. (Figs. 28 e 29)



Intensa eletrização

Fig. 28



Fraca eletrização

Fig. 29

O pente intensamente atritado tem maior capacidade de realizar trabalho, porque é capaz de atrair maior quantidade de partículas de papel. (Figs. 30 e 31)

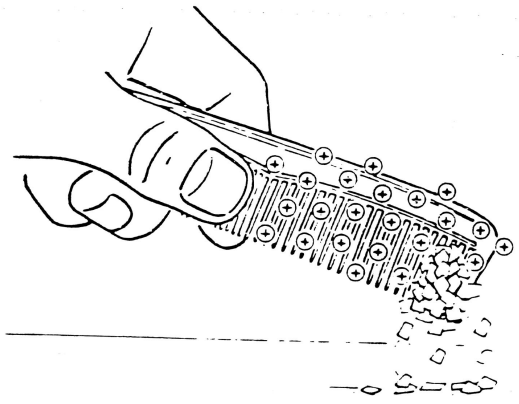


Fig. 30

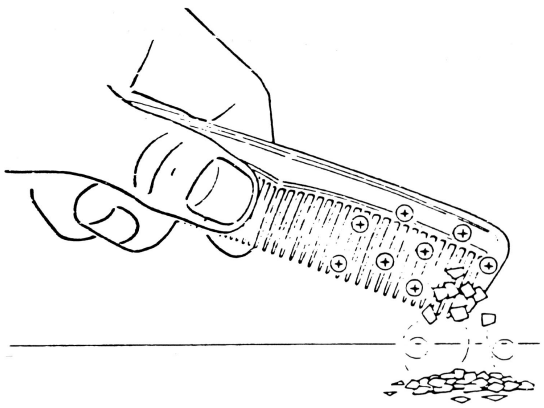


Fig. 31

Como a maior capacidade de realizar trabalho significa maior potencial, conclui-se que o pente intensamente eletrizado tem maior potencial elétrico. (Figs. 32 e 33)

Potencial elétrico maior

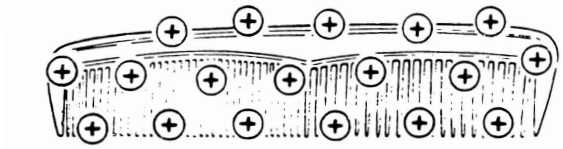


Fig. 32

Potencial elétrico menor

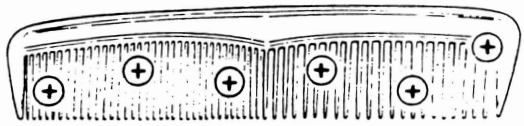


Fig. 33

O potencial elétrico de um corpo depende diretamente do desequilíbrio elétrico existente nesse corpo. Assim:

MAIOR DESEQUILÍBRIO ELÉTRICO ⟺ MAIOR POTENCIAL ELÉTRICO

Um corpo que tenha um desequilíbrio elétrico duas vezes maior que outro tem um potencial elétrico duas vezes maior.

Diferença de potencial

Quando se comparam os trabalhos realizados por dois corpos eletrizados, automaticamente estão sendo comparados os seus potenciais elétricos.

A diferença entre os trabalhos expressa diretamente a diferença de potencial elétrico entre os dois corpos.

A diferença de potencial, abreviada por ddp é importantíssima nos estudos relacionados com eletricidade e eletrônica.

A palavra "diferença" implica sempre comparação de um valor com outro. Assim, pode-se verificar a existência de diferença de potencial entre corpos eletrizados com cargas diferentes ou com o mesmo tipo de carga. (Fig. 34)

A diferença de potencial é também denominada de voltagem ou tensão elétrica.

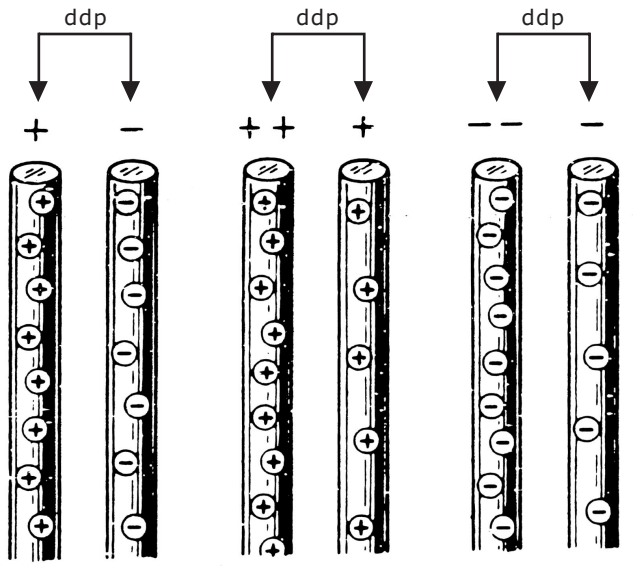


Fig. 34

No campo da eletrônica e da eletricidade, utiliza-se quase exclusivamente a expressão "tensão" para indicar a ddp ou tensão elétrica.

Unidade de medida de tensão

A tensão entre dois pontos pode ser medida através de instrumentos.

A unidade de medida de tensão é o *volt*, representada pelo símbolo V.

Em algumas situações, a unidade de medida padrão se torna inconveniente. A unidade de medida de comprimento, por exemplo, não é adequada para expressar o comprimento de um pequeno objeto, utilizando-se um submúltiplo, como o centímetro ou milímetro.

A unidade de medida de tensão (volt) também tem múltiplos ou submúltiplos, adequados a cada situação. Observe a Tabela 2.

Tabela 2

DENOMINAÇÃO		SÍMBOLO	VALOR COM RELAÇÃO AO VOLT
MÚLTIPLOS	megavolt	MV	10^6 V ou 1000000 V
	quilovolt	kV	10^3 V ou 1000 V
UNIDADE	volt	V	–
SUBMÚLTIPLOS	milivolt	mV	10^{-3} V ou 0,001 V
	microvolt	µV	10^{-6} V ou 0,000001 V

No campo da eletricidade usam-se normalmente o volt e o quilovolt.
Na área da eletrônica usam-se normalmente o volt, o milivolt e o microvolt.

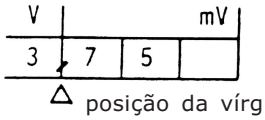
A conversão de valores é feita de forma semelhante a outras unidades de medida.

	kV			V			µV		

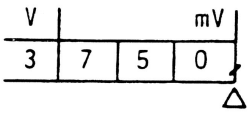
APLICAÇÃO

EXEMPLOS DE CONVERSÃO:

1) 3,75 V = mV



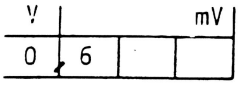
posição da vírgula

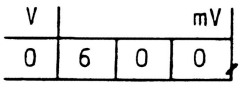


3,75 V = 3750 mV

nova posição da vírgula

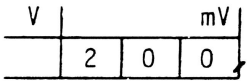
2) 0,6 V = mV

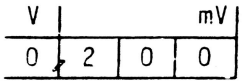




0,6 V = 600 mV

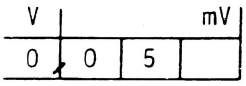
3) 200 mV = V

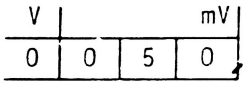




200 mV = 0,2 V

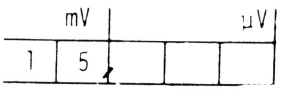
4) 0,05 V = mV

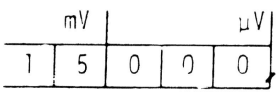




0,05 V = 50 mV

5) 15 mV = µV





15 mV = 15000 µV

Fontes geradoras de tensão

A existência de tensão é condição fundamental para o funcionamento de todos os aparelhos elétricos. A partir desta necessidade, foram desenvolvidos dispositivos que têm a capacidade de criar um desequilíbrio elétrico entre dois pontos, dando origem a uma tensão elétrica.

Esses dispositivos são denominados genericamente de *fontes geradoras de tensão*, entre cujos tipos citam-se:

– pilhas (Fig. 35)

– baterias (Fig. 36)

– geradores (máquinas que geram tensão) (Fig. 37)

Fig. 35

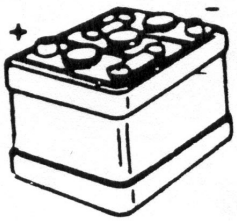


Fig. 36

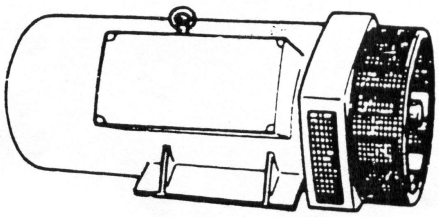


Fig. 37

Pilhas

As pilhas são fontes geradoras de tensão usadas em aparelhos portáteis. (Fig. 38)

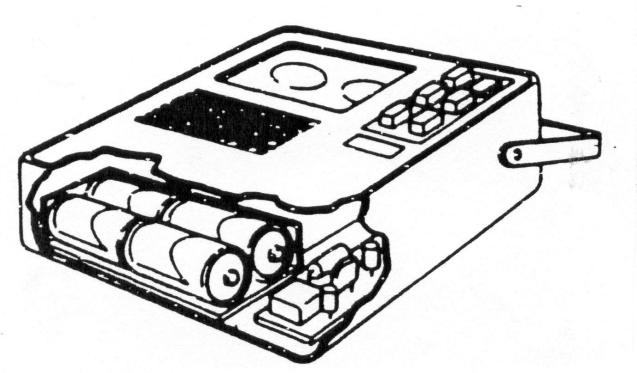


Fig. 38

Basicamente as pilhas são constituídas por dois tipos de metais mergulhados em um preparado químico. (Fig. 39)

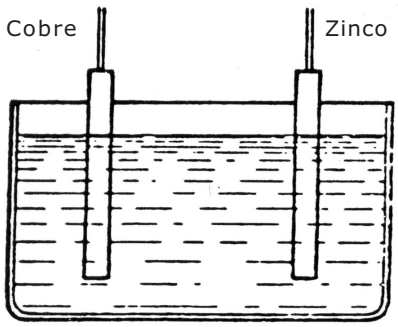


Fig. 39

Esse preparado químico reage com os metais, retirando elétrons de um e levando-os para o outro. Um dos metais fica com potencial elétrico positivo e o outro fica com potencial elétrico negativo.

A figura 40 ilustra a eletrização dos metais.

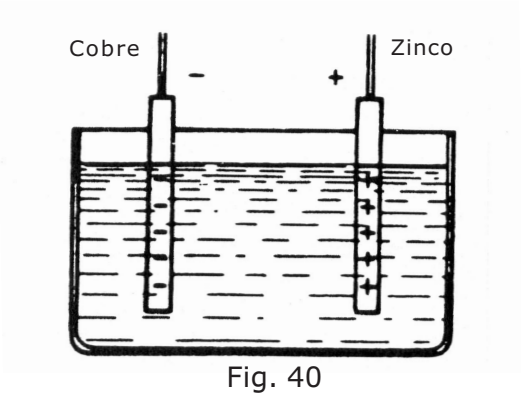


Fig. 40

Entre os dois metais existe, portanto, uma ddp ou tensão elétrica. (Fig. 41)

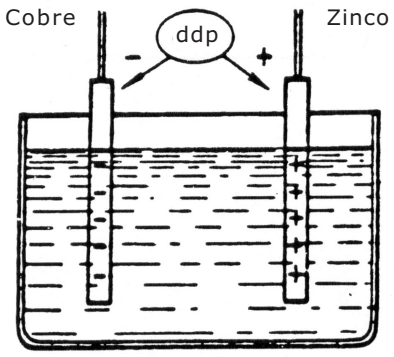


Fig. 41

Pela própria característica de funcionamento das pilhas, um dos metais torna-se positivo e o outro negativo. Cada um dos metais é denominado de pólo. As pilhas dispõem de um pólo positivo e um pólo negativo.

A figura 42 mostra o aspecto real de duas pilhas (pilha pequena e pilha de telefone), indicando seus pólos.

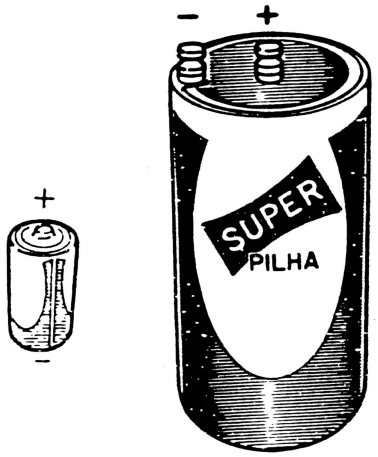


Fig. 42

Os pólos de uma pilha nunca se alteram. O pólo positivo sempre tem potencial positivo e o pólo negativo sempre tem potencial negativo. Normalmente se diz que as polaridades de uma pilha são fixas.

Devido ao fato de as pilhas terem polaridade invariável, a tensão fornecida é denominada de tensão contínua ou tensão CC. Assim:

Tensão contínua é a tensão elétrica entre dois pontos, cuja polaridade é invariável.

Todas as fontes geradoras de tensão que têm polaridade fixa são denominadas de fontes geradoras de tensão contínua.

Tensão fornecida por uma pilha

As pilhas utilizadas em gravadores, rádios e outros aparelhos fornecem uma tensão contínua de aproximadamente 1,5 V, independente do seu tamanho físico. (Fig. 43)

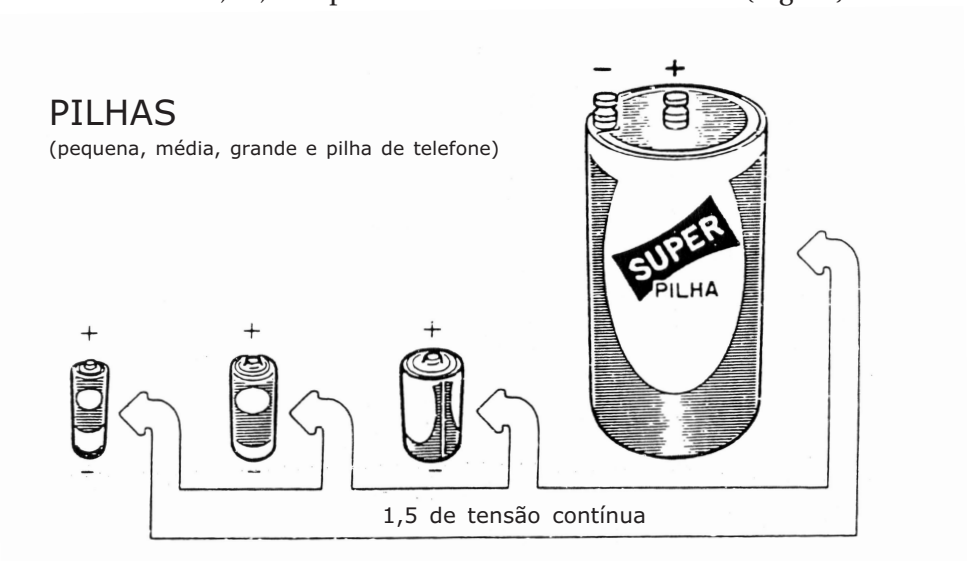


Fig. 43

A tensão fornecida pelas pilhas e geradores de tensão contínua pode ser representada em um gráfico, que mostra o comportamento da tensão ao longo do tempo. (Fig. 44)

O gráfico da figura mostra que a tensão fornecida por uma pilha comum é 1,5 V em qualquer tempo.

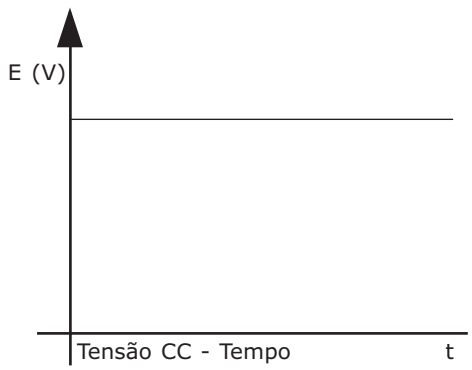


Fig 44

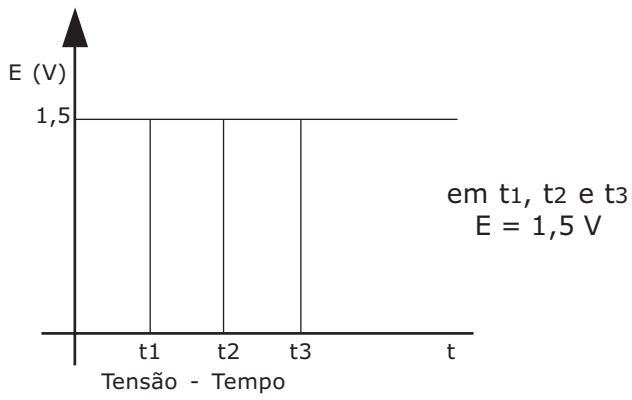


Fig 45

Medida de tensão CC

A medida de tensão CC consiste na utilização correta de um instrumento com o objetivo de determinar a tensão presente entre dois pontos.

A medição pode ser usada para determinar a tensão fornecida por uma fonte geradora de tensão CC. (Fig. 46)

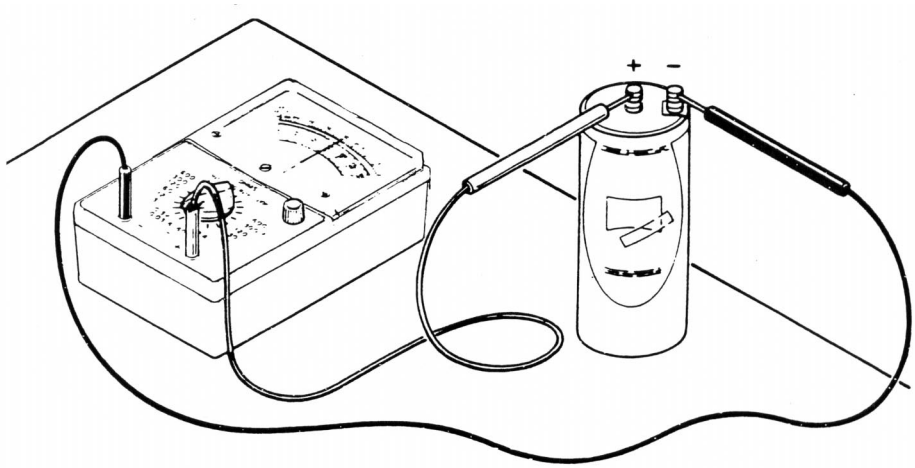


Fig. 46

Existem dois tipos de instrumento através dos quais se pode medir tensão CC:

— voltímetro ou milivoltímetro (Fig. 47)

— multímetro (Fig. 48)

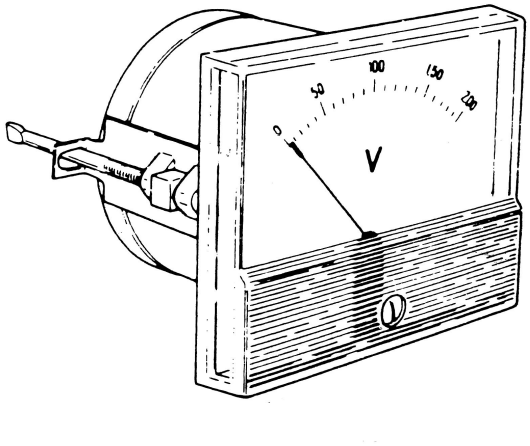


Fig. 47

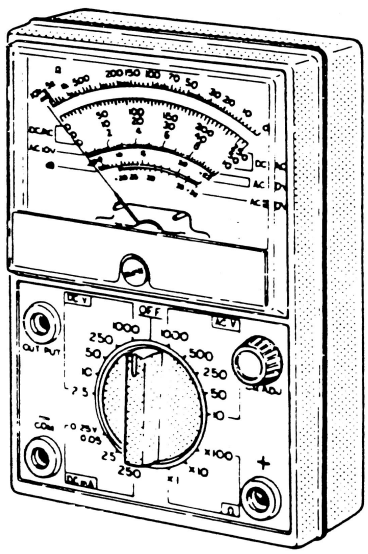


Fig. 48

O multímetro é um instrumento utilizado no dia-a-dia. A utilização de alguns procedimentos relativos a segurança, conservação e manejo contribuem para que o equipamento se mantenha em condições de uso durante muito tempo.

A seguir, estão listados estes procedimentos:

DE SEGURANÇA

- manter o multímetro sempre longe das extremidades da bancada;
- não empilhar o instrumento sobre qualquer objeto ou equipamento;
- posicionar a chave seletora de escala para a posição desligado (OFF), sempre que o instrumento não estiver em uso. Caso esta posição não seja possível, posicionar em ACV, na maior escala.

DE CONSERVAÇÃO

- fazer limpeza apenas com pano limpo e seco.

DE MANUSEIO

- posicionar adequadamente a chave seletora para a medida;
- cuidar para introduzir as pontas de prova nos bornes apropriados;
- observar sempre a polaridade nas medições de tensão;
- cuidar para que a tensão a ser medida não exceda o valor determinado pela chave seletora do instrumento.

Corrente elétrica

A corrente elétrica consiste em um movimento orientado de cargas, provocado pelo equilíbrio elétrico (ddp) existente entre dois pontos. (Fig. 49)

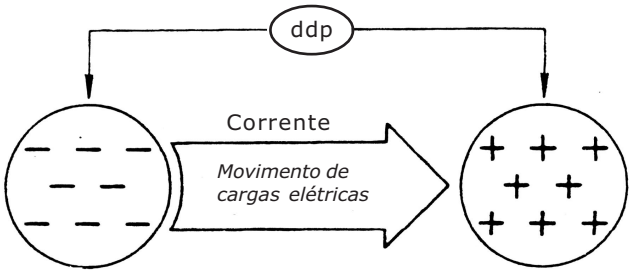


Fig. 49

A corrente elétrica é a forma pela qual os corpos eletrizados procuram restabelecer novamente o equilíbrio elétrico.

Descargas elétricas

As descargas elétricas são fenômenos comuns na natureza. Os relâmpagos são exemplos característicos de descarga elétrica.

O atrito contra o ar faz com que as nuvens fiquem altamente eletrizadas, adquirindo um potencial elevado (tensão muito alta). Quando duas nuvens com potencial elétrico diferente (ddp) se aproximam, ocorre uma descarga elétrica (relâmpago) de uma para a outra ou de uma nuvem para a Terra. (Fig. 50)

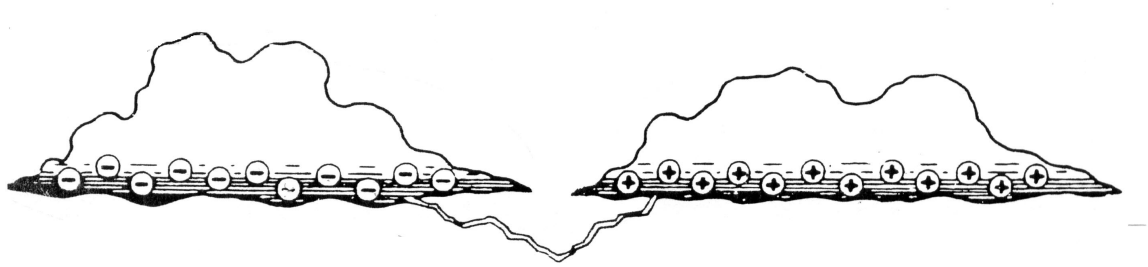


Fig. 50

Esta descarga nada mais é do que uma transferência orientada de cargas elétricas de uma nuvem para a outra. Generalizando: *a descarga elétrica é o movimento orientado de cargas elétricas entre dois pontos onde exista ddp.*

Durante a descarga, um grande número de cargas elétricas é transferido, numa única direção, para diminuir o desequilíbrio elétrico entre dois pontos. (Fig. 51)

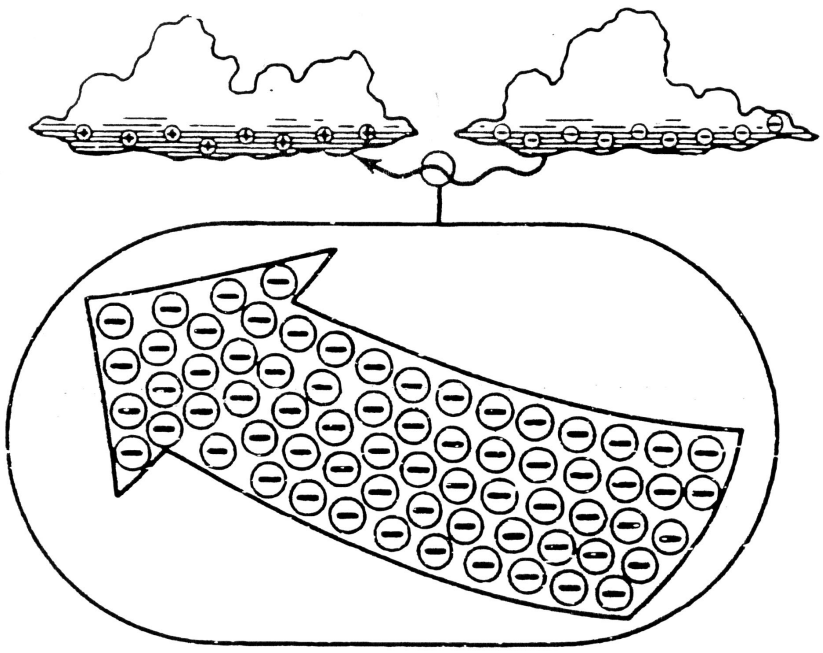


Fig. 51

Os elétrons que estão em excesso em uma nuvem deslocam-se para a nuvem que tem falta de elétrons.

O deslocamento de cargas elétricas entre dois pontos onde existe ddp é denominado de *corrente elétrica*.

A partir da definição de corrente elétrica, pode-se concluir que o relâmpago é uma corrente elétrica que existe devido à tensão elétrica que se estabelece entre as nuvens.

Durante o curto tempo de duração de um relâmpago, um grande número de cargas elétricas flui de uma nuvem para a outra. Dependendo da grandeza do desequilíbrio elétrico entre as duas nuvens, a descarga (corrente elétrica) entre elas pode ter maior ou menor intensidade.

Unidade de medida de intensidade da corrente elétrica

A corrente é uma grandeza elétrica e sua intensidade pode ser medida.

A unidade de medida da intensidade da corrente elétrica é o ampère, representada pelo símbolo A.

Uma intensidade de corrente de 1 A significa que $6{,}25 \times 10^{18}$ cargas elétricas passam em 1 segundo de um ponto a outro onde existe tensão elétrica.

A unidade de intensidade de corrente — ampère — também tem múltiplos e submúltiplos que são apresentados na tabela 3.

Tabela 3

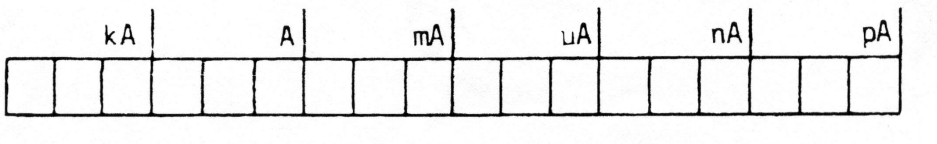
	DENOMINAÇÃO	SÍMBOLO	VALOR EM RELAÇÃO À UNIDADE
MÚLTIPLOS	quiloampère	kA	10^3 A ou 1000 A
UNIDADE	ampère	A	———
SUBMÚLTIPLOS	miliampère	mA	10^{-3} A ou 0,001 A
	microampère	µA	10^{-6} A ou 0,000001 A
	nanoampère	nA	10^{-9} A ou 0,000000001 A
	picoampère	pA	10^{-12} A ou 0,000000000001 A

NOTA

No campo da eletrônica são mais utilizados o ampère, miliampère e o microampère.

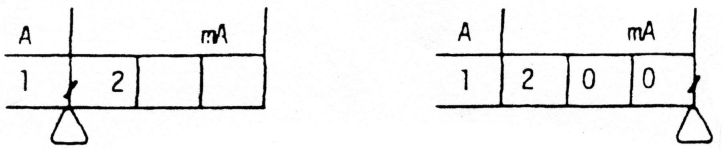
APLICAÇÃO

A conversão de valores é feita de forma semelhante a outras unidades de medida.



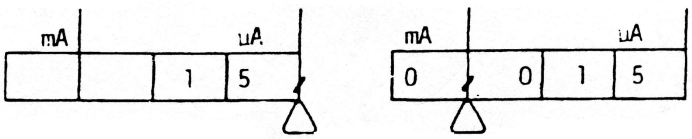
Exercícios de conversão.

1) 1,2 A = _____ mA



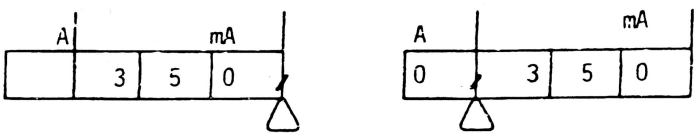
1,2 A = 1200 mA

2) 15 µA = _____ mA



15 µA = 0,015 mA

3) 350 mA = _____ A



350 mA = 0,350 A

O instrumento utilizado para medir a intensidade de corrente é o amperímetro. Existem ainda: miliamperímetros – para correntes da ordem de miliampères.
microamperímetros – para correntes da ordem de microampères.
nanoamperímetros – para correntes da ordem de nanoampères.
picoamperímetros – para correntes da ordem de picoampères.

Corrente elétrica

A corrente elétrica é o movimento de cargas elétricas. Nos materiais sólidos, as cargas que se movimentam são os elétrons; nos líquidos e gases, o movimento pode ser de elétrons ou de íons livres.

Corrente contínua

Quando o movimento de cargas elétricas (sejam elétrons ou íons) ocorre sempre em um sentido, a corrente elétrica é denominada de corrente contínua.

A corrente elétrica contínua é representada por CC.

Resistência elétrica

Resistência elétrica é a oposição que um material apresenta ao fluxo ou seja, à passagem de corrente elétrica.

Todos os dispositivos elétricos e eletrônicos apresentam uma certa oposição à passagem da corrente elétrica.

A resistência que os materiais apresentam à passagem da corrente elétrica tem origem na sua estrutura atômica.

Para que a aplicação de uma ddp a um material origine uma corrente elétrica, é necessário que a estrutura desse material propicie a existência de cargas elétricas livres para movimentação.

Quando um material propicia a existência de um grande número de cargas livres, a corrente elétrica flui com facilidade através dele. (Fig. 52)

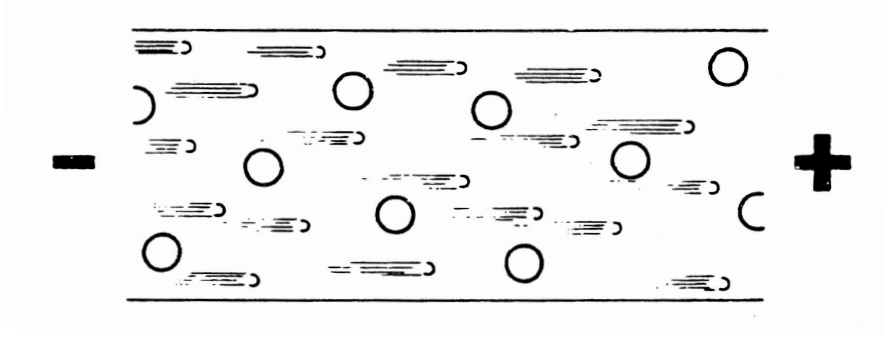


Fig. 52

Nesse caso, a resistência elétrica do material é pequena.

Por outro lado, nos materiais que propiciam a existência de um pequeno número de cargas livres, a corrente elétrica flui com dificuldade. (Fig. 53)

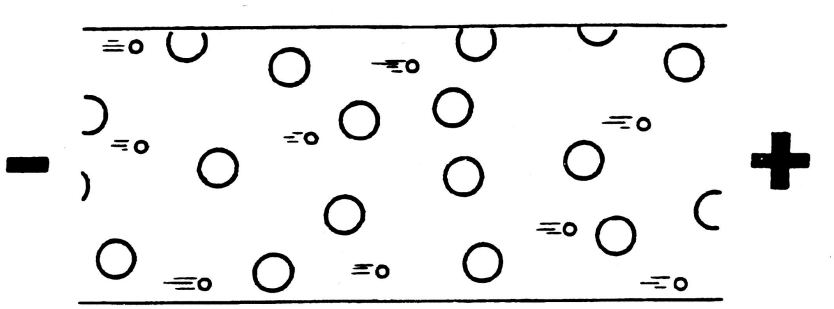


Fig. 53

Conclui-se, então, que a resistência elétrica desses materiais é grande.

Em resumo, pode-se afirmar:

A resistência elétrica de um material depende da facilidade ou dificuldade com que este material libera cargas para a circulação.

Unidade de medida

A unidade de medida da resistência elétrica é o ohm, representado pelo símbolo Ω.

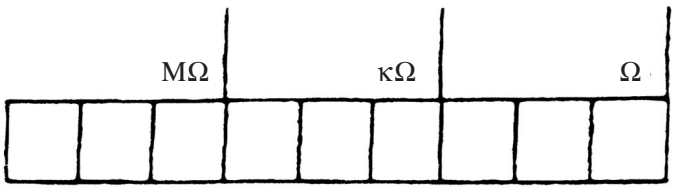
A unidade de resistência elétrica tem múltiplos e submúltiplos. Entretanto, na prática, usam-se quase exclusivamente os múltiplos, que estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4

	DENOMINAÇÃO	SÍMBOLO	VALOR EM RELAÇÃO À UNIDADE
MÚLTIPLOS	megaohm	M Ω	10^6 Ω ou 1000000 Ω
	quiloohm	k Ω	10^3 Ω ou 1000 Ω
UNIDADE	ohm	Ω	————

APLICAÇÃO

A conversão de valores obedece ao mesmo procedimento de outras unidades.



Exemplos de conversão:

120 Ω = 0,12 kΩ
5,6 Ω = 5600 Ω
2,7 MΩ = 2700 kΩ
390 kΩ = 0,39 MΩ
470 Ω = 0,00047 MΩ
680 kΩ = 0,68 MΩ

Instrumento de medida

O instrumento destinado à medida de resistência elétrica é denominado de ohmímetro.

Raramente se encontra um instrumento que seja unicamente ohmímetro. Em geral, as medidas de resistência elétrica são realizadas através de um multímetro.

Aplicações práticas

O efeito causado pela resistência elétrica, que pode parecer inconveniente, encontra muitas aplicações práticas em eletricidade e eletrônica.

Alguns exemplos práticos de aplicação da resistência dos materiais são:

– aquecimento: em chuveiros, ferros de passar.
– iluminação: em lâmpadas incandescentes.

Materiais condutores e isolantes

Os materiais são denominados de *condutores* quando permitem a passagem da corrente elétrica e de *isolantes* quando não permitem essa passagem. (Fig.54)

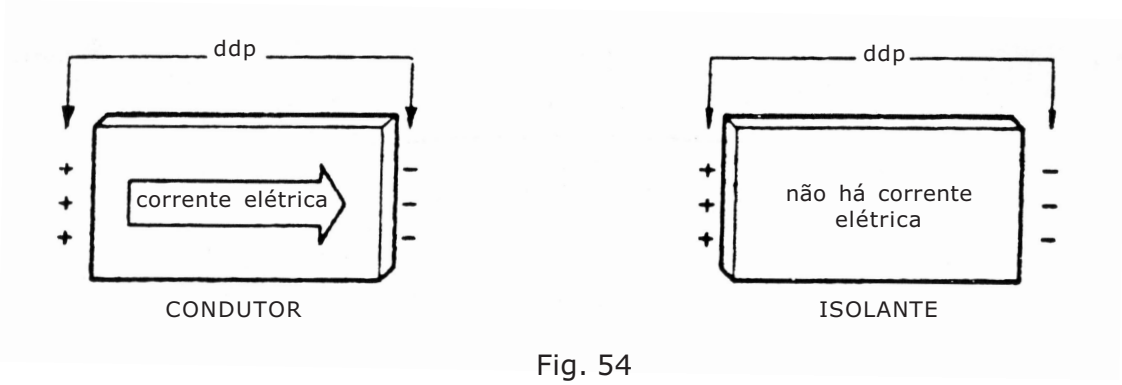


Fig. 54

Os materiais condutores e isolantes são empregados em todos os dispositivos e equipamentos elétricos e eletrônicos.

Materiais condutores

Os materiais condutores se caracterizam por permitir a existência de corrente elétrica toda vez que se aplica uma ddp entre seus extremos. (Fig. 55)

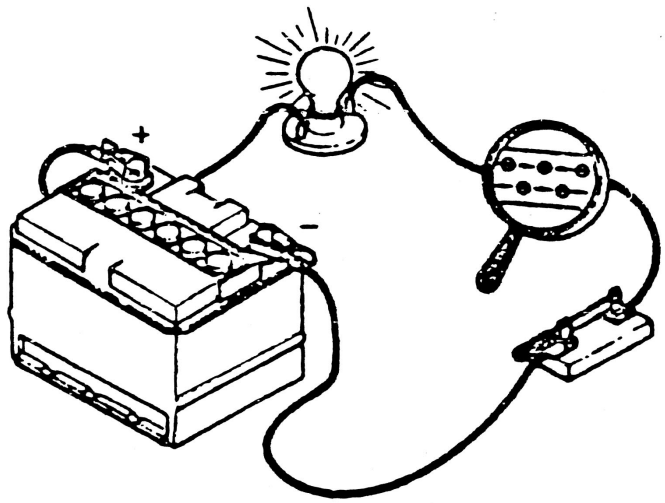
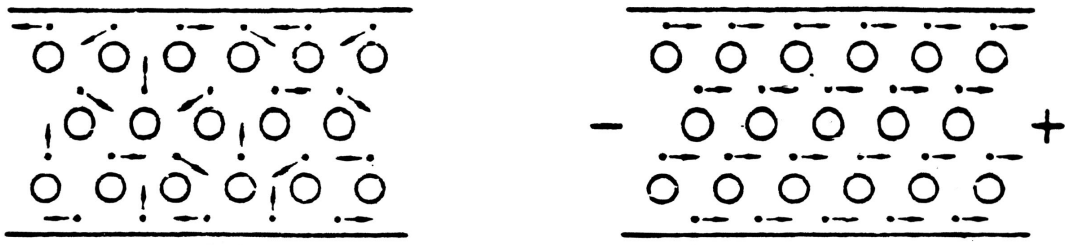


Fig. 55

Existem materiais sólidos, líquidos e gasosos que são condutores elétricos. Entretanto, na área da eletricidade e eletrônica os materiais sólidos são os mais importantes. Neles, as cargas elétricas que se movimentam, formando a corrente elétrica, são os elétrons, denominados elétrons livres (elétrons que se libertam do átomo, por influência de uma força externa). (Fig. 56)



Sem ddp

Com ddp

Fig. 56

Quanto mais elétrons livres existirem em um material, melhor condutor de corrente elétrica ele será.

Os metais são os materiais que melhor conduzem a corrente elétrica porque os átomos da sua estrutura possuem um pequeno número de elétrons na camada externa (até 3 elétrons).

Esses elétrons se desprendem facilmente porque estão fracamente ligados ao núcleo dos átomos, tornando-se elétrons livres. (Fig. 57)

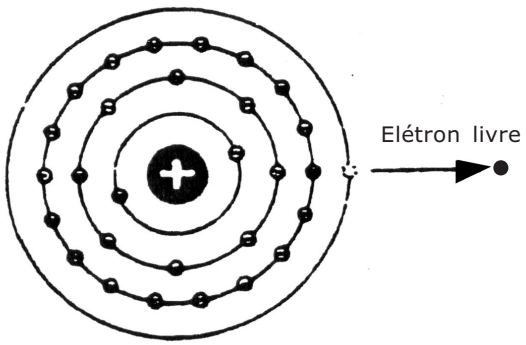
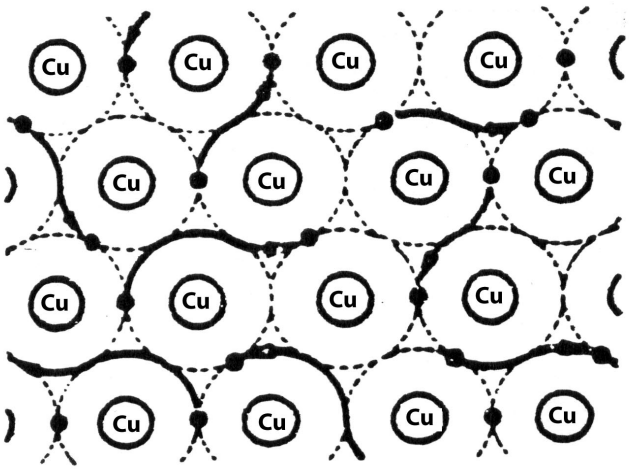


Fig. 57

Os átomos de cobre, que formam a estrutura atômica do "metal cobre", têm 29 elétrons, dos quais apenas 1 está na última camada.

Esse elétron se desprende do núcleo, vagando livre no interior do material.

A mobilidade dos elétrons da última camada energética do cobre é tal que a sua estrutura química se compõe de um grande número de núcleos fixos rodeados por elétrons livres que se movimentam intensamente de um núcleo para outro. (Fig. 58)



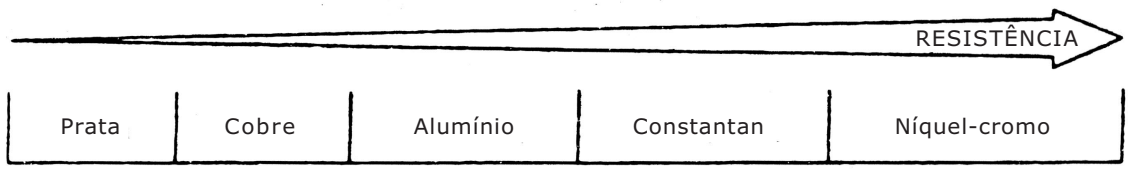
Estrutura do cobre

Fig. 58

A grande liberdade de movimentação dos elétrons no interior da estrutura química do cobre dá a este material a característica de boa condutividade elétrica.

Os materiais condutores podem ser classificados segundo a resistência que apresentam. Os melhores condutores (chamados de bons condutores) são os que apresentam menor resistência elétrica.

Representa-se, a seguir, a classificação de alguns materiais condutores, a partir da prata, em ordem crescente de resistência elétrica:



Eliminando a prata, que é um metal precioso, o cobre é o melhor condutor elétrico, sendo muito utilizado para a fabricação de condutores para instalações elétricas.

Materiais isolantes

Os materiais classificados de isolantes são os que apresentam grande oposição à circulação de corrente elétrica no interior de sua estrutura.

A grande oposição à circulação de corrente nos materiais isolantes se deve ao fato de que a sua estrutura atômica não propicia a existência de elétrons livres.

Nos materiais isolantes, os elétrons dos átomos que compõem a estrutura química são fortemente ligados aos seus núcleos, dificilmente sendo liberados para a circulação.

NOTA

Os materiais isolantes têm poucos elétrons livres.

Os materiais isolantes têm a sua estrutura atômica composta por átomos que têm 5 ou mais elétrons na última camada energética. (Fig. 59)

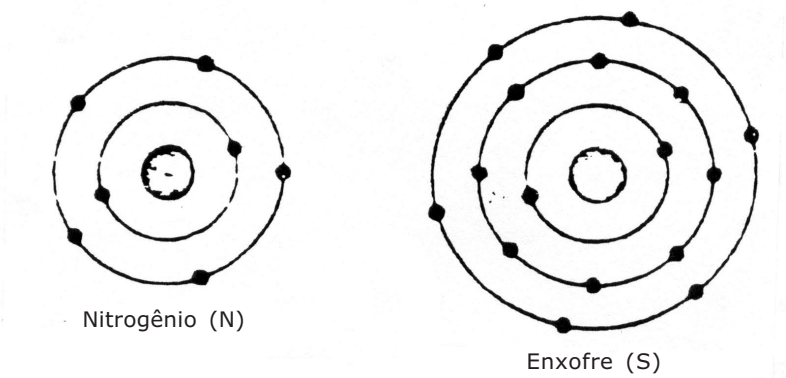


Fig. 59

Em condições anormais, um material isolante pode se tornar condutor. Este fenômeno, denominado de *ruptura dielétrica*, ocorre quando a quantidade de energia entregue ao material é tão elevada que os elétrons (normalmente presos aos núcleos dos átomos) são arrancados das órbitas, provocando a circulação de corrente.

NOTA

Ruptura dielétrica é o nome dado ao fenômeno pelo qual uma grande quantidade de energia transforma um material normalmente isolante em condutor.

A formação de faíscas no desligamento de um interruptor elétrico é um exemplo típico de ruptura dielétrica. A tensão elevada existente entre os contatos no momento da abertura fornece uma grande quantidade de energia que provoca a ruptura dielétrica do ar, propiciando a formação da faísca.

Circuito elétrico

Circuito elétrico é um caminho fechado por onde circula a corrente elétrica. (Fig. 60)

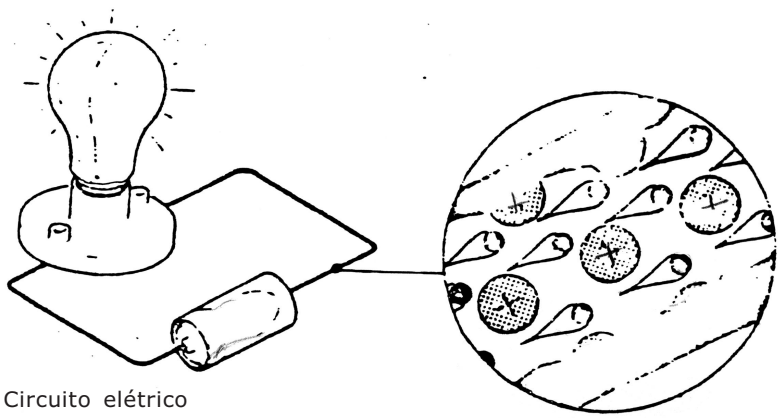


Fig. 60

Os circuitos elétricos podem assumir as mais diversas formas, com o objetivo de produzir os efeitos desejados, tais como: luz, som, calor, movimento.

Componentes

O circuito elétrico mais simples que se pode "montar"constitui-se de três componentes: *fonte geradora, carga e condutores*.

FONTE GERADORA – todo circuito elétrico necessita de uma fonte geradora que forneça um valor de tensão necessário para a existência de corrente elétrica.

CARGA – a carga (também denominada de "consumidor" ou "receptor" de energia elétrica) é o componente do circuito elétrico que transforma a energia elétrica fornecida pela fonte geradora em outro tipo de energia (mecânica, luminosa, térmica).

As cargas são o objetivo-fim de um circuito. Os circuitos elétricos são constituídos visando ao funcionamento da carga.

Alguns exemplos de carga são:

lâmpada – transforma energia elétrica em luminosa (e térmica, pois também produz calor).
motor – transforma energia elétrica em mecânica (movimento de um eixo).
rádio – transforma energia elétrica em sonora.

Um circuito elétrico pode ter um ou mais consumidores.

CONDUTORES – constituem o elo de ligação entre fonte geradora e carga. São utilizados como meio de transporte para a corrente elétrica.

Uma lâmpada, ligada através de condutores a uma pilha, é exemplo característico de circuito elétrico simples, formado por três componentes. (Fig.61)

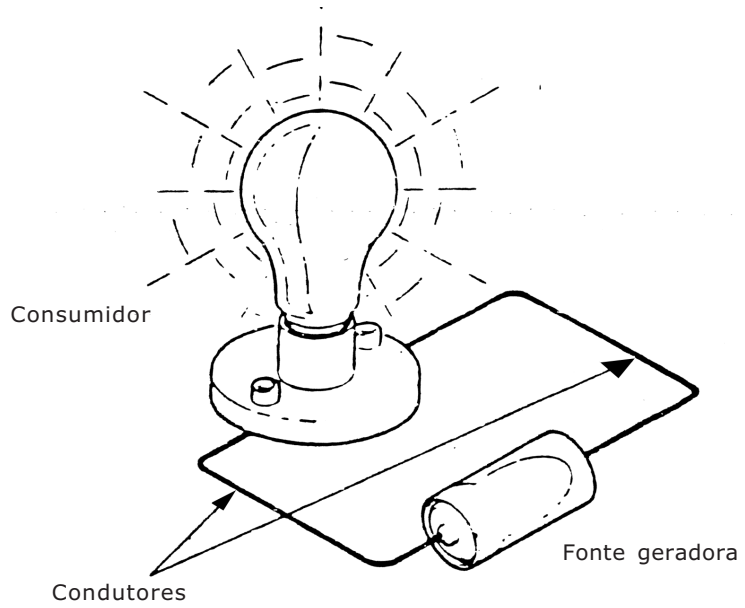


Fig. 61

A lâmpada tem no seu interior uma resistência, chamada de filamento, que se torna incandescente quando percorrida por uma corrente elétrica, gerando luz.

A figura 62 mostra uma lâmpada com as partes identificadas.

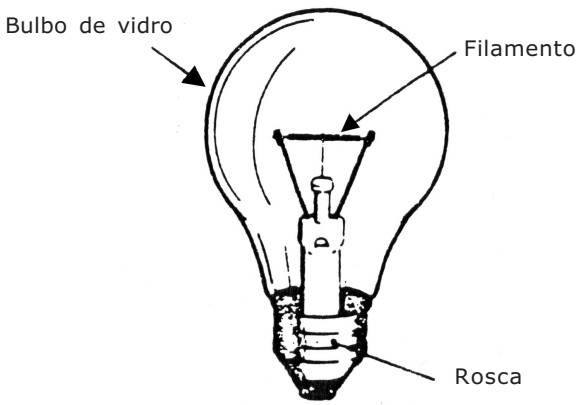


Fig. 62

Quando a lâmpada é conectada a uma pilha por meio dos condutores, forma-se um circuito elétrico. Os elétrons, em excesso no pólo negativo da pilha, se movimentam através do condutor e do filamento da lâmpada, em direção ao pólo positivo da pilha. (Fig. 63)

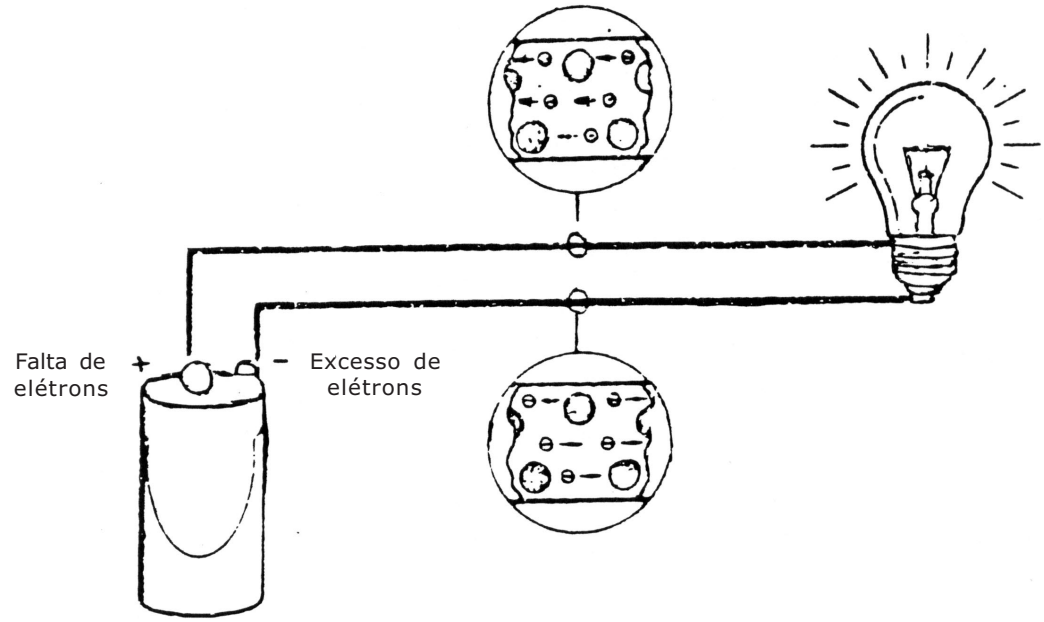


Fig. 63

A figura 63 ilustra o movimento dos elétrons livres saindo do pólo negativo, passando pela lâmpada e dirigindo-se ao pólo positivo.

Enquanto a pilha tiver condições de manter um excesso de elétrons no pólo negativo e uma falta de elétrons no pólo positivo, haverá corrente elétrica no circuito e a lâmpada se manterá acesa.

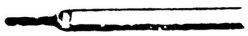
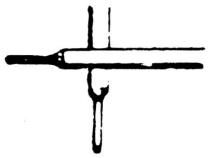
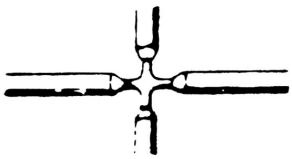
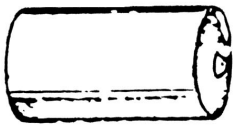
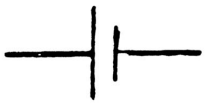
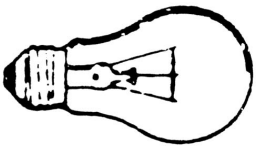
Simbologia dos componentes de um circuito

Seria muito inconveniente, a cada vez que se necessitasse desenhar um circuito elétrico, ter que desenhar os componentes na sua forma real.

Por essa razão, foi criada uma simbologia, de forma que cada componente é representado por um símbolo toda vez que se tiver que desenhar um circuito elétrico.

A tabela 5 mostra alguns símbolos utilizados e os respectivos componentes.

Tabela 5

DESIGNAÇÃO	FIGURA	SÍMBOLO
Condutor		
Cruzamento sem conexão		
Cruzamento com conexão		
Fonte, gerador ou bateria		
Lâmpada		

A representação gráfica de um circuito elétrico através da simbologia é denominada de "esquema" ou "diagrama elétrico".

Empregando a simbologia, o circuito elétrico da figura 64 formado pela lâmpada, condutores e pilhas será representado conforme o esquema da figura 65.

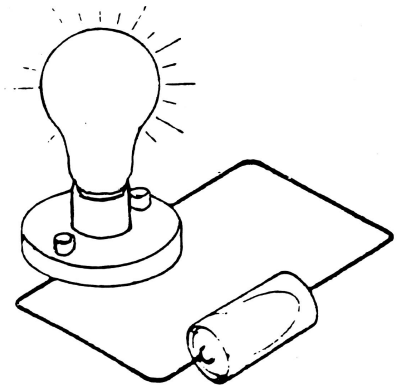


Fig. 64

Esquema

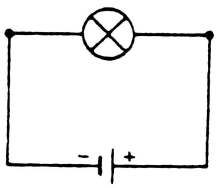


Fig. 65

Quando se necessita representar a existência de corrente elétrica em um diagrama, usa-se normalmente uma seta, acompanhada pela letra I. (Fig. 66)

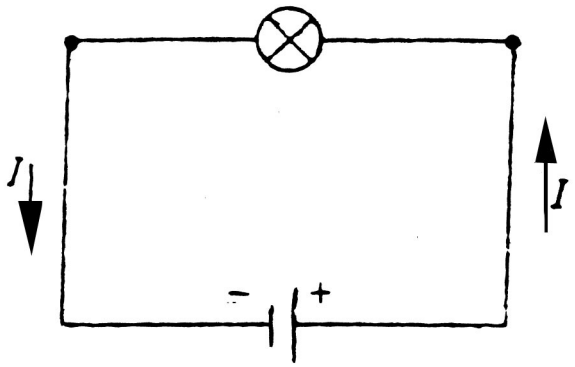


Fig. 66

Interruptores ou chaves

Os circuitos elétricos possuem normalmente um componente adicional além da fonte geradora, consumidor(es) e condutores. Este componente é o *interruptor* ou *chave*. Os interruptores ou chaves são incluídos nos circuitos elétricos com a função de comandar o seu funcionamento.(Figs. 67 e 68)

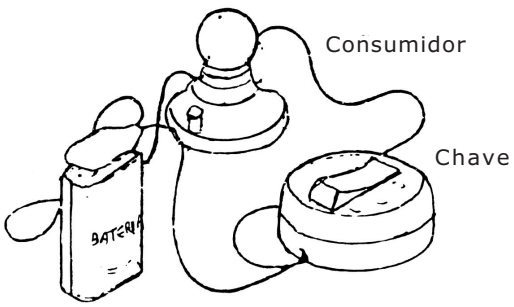


Fig. 67

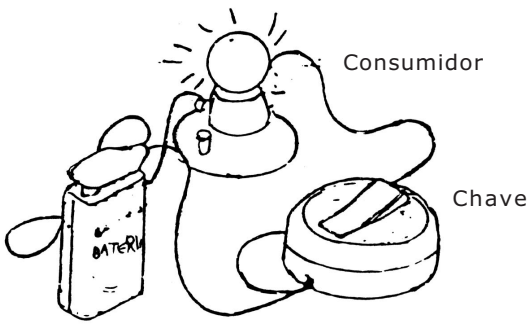


Fig. 68

Os interruptores ou chaves podem ter as mais diversas formas, mas cumprem sempre a função de ligar ou desligar o circuito. (Figs. 69, 70 e 71)

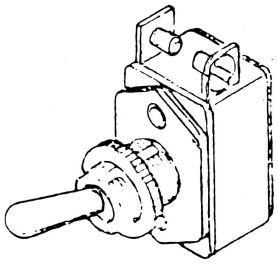


Fig. 69

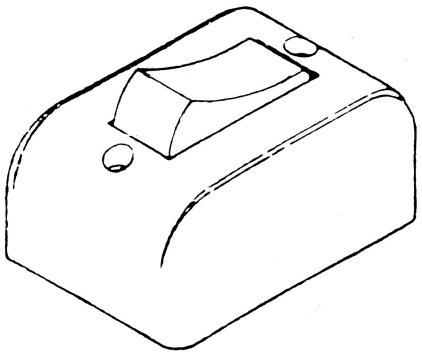


Fig. 70

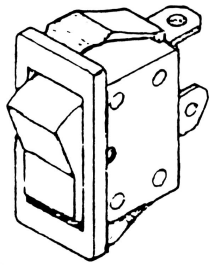


Fig. 71

Nos esquemas, os interruptores e chaves também são representados por um símbolo. O símbolo apresentado na figura 72 representa o interruptor na posição desligado.

Fig. 72

A figura 73 mostra o esquema do circuito elétrico acrescido do interruptor.

Na posição "desligado" ou "aberto" o interruptor provoca uma abertura em um dos condutores. Nessa condição o circuito elétrico não corresponde a um "caminho fechado", porque um dos pólos da pilha (positivo) está desconectado do circuito. (Fig. 74)

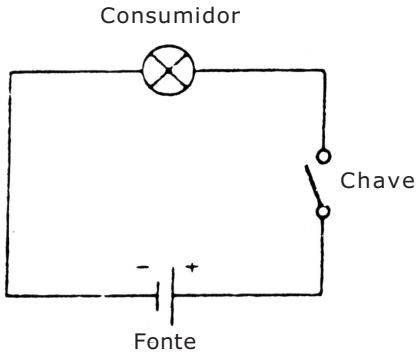


Fig. 73

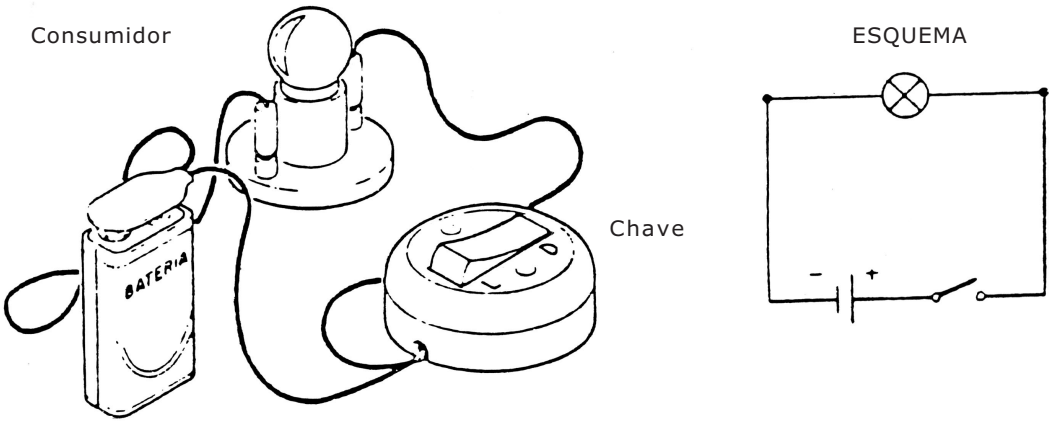


Fig. 74

Na posição "ligado" ou "fechado", o interruptor tem os seus contatos fechados, tornando-se um condutor de corrente contínua.

Nessa condição, o circuito é novamente um "caminho fechado" por onde circula a corrente elétrica. (Fig. 75)

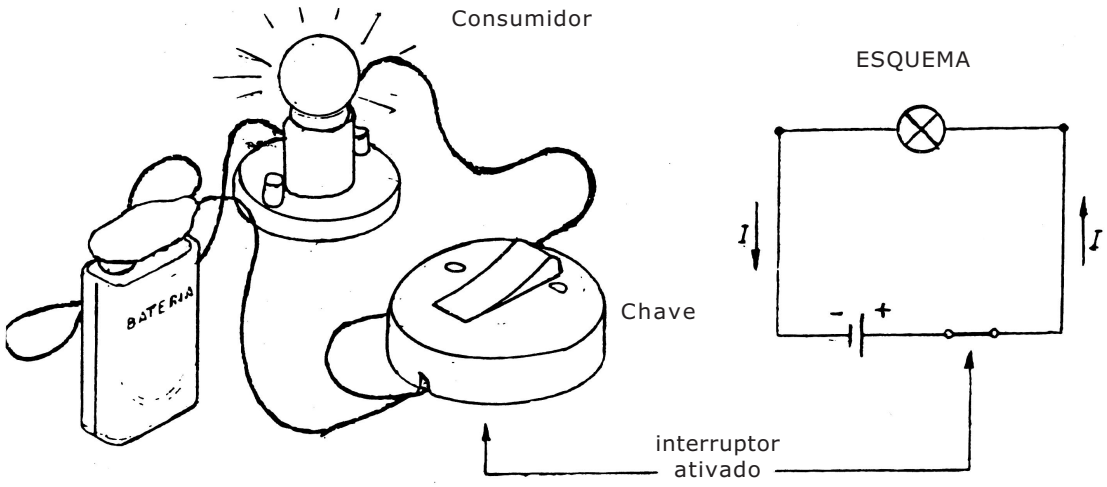


Fig. 75

Sentido da corrente em um circuito elétrico

Antes que se compreendesse de forma mais científica a natureza do fluxo de elétrons, já se utilizava a eletricidade para iluminação, motores e outras aplicações. Naquela época se estabeleceu, por convenção, que a corrente elétrica se constituía de um movimento de cargas elétricas que fluía do pólo positivo para o pólo negativo da fonte geradora. Este sentido de circulação – do positivo (+) para o negativo (-) – foi denominado de *sentido convencional da corrente*.

Com o aprofundamento e a melhoria dos recursos científicos verificou-se, mais tarde, que nos condutores sólidos a corrente elétrica se constitui de elétrons em movimento do pólo negativo para o pólo positivo. Esse sentido de circulação foi denominado de *sentido eletrônico da corrente*.

O sentido que se adota como referência para o estudo dos fenômenos elétricos (eletrônico ou convencional) não interfere nos resultados que se obtêm, razão pela qual ainda hoje se encontram defensores para cada um dos sentidos.

Tendo em vista que toda a simbologia de componentes eletrônicos foi desenvolvida a partir do sentido convencional da corrente elétrica – do (+) para o (-) – as informações relativas à eletrônica, neste material didático, utilizarão esse sentido como referência.

O sentido da corrente utilizado neste material instrucional será o ***convencional: do positivo para o negativo.***

RESISTORES

Nesta seção...

Características ◀

Simbologia ◀

Tipos de resistores ◀

Código de cores ◀

Resistores ajustáveis ◀

Potenciômetros ◀

2

Resistores

Os resistores são componentes utilizados nos circuitos com a finalidade de limitar a corrente elétrica, sendo assim possível reduzir ou dividir tensões. A figura 1 mostra alguns tipos de resistores.

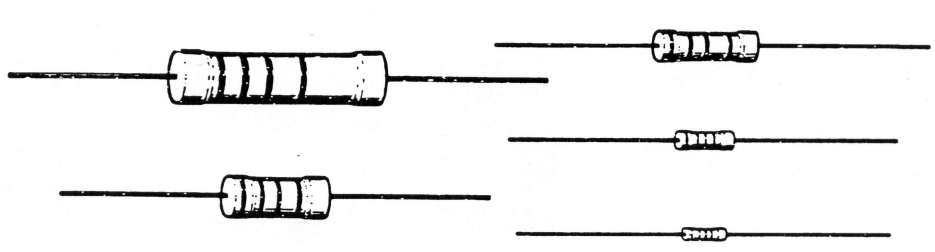


Fig 1

Características dos resistores

Os resistores possuem características elétricas importantes:

a) resistência ôhmica
b) percentual de tolerância

Resistência ôhmica

É o valor específico de resistência do componente. Os resistores são fabricados em valores padronizados, estabelecidos por norma.

Ex.: 120 Ω, 560 Ω, 1500 Ω.

Percentual de tolerância

Os resistores estão sujeitos, no seu valor, a diferenças que decorrem do processo de fabricação. Estas diferenças se situam em cinco faixas de percentual de tolerância: ± 20%; ± 10%; ± 5%; ± 2%; ± 1%.

Os resistores com 20%, 10% e 5% de tolerância são considerados resistores comuns e os de 2% e 1% são resistores de precisão. Os resistores de precisão são usados apenas em circuitos onde os valores de resistência são críticos.

O percentual de tolerância indica a variação que o componente pode apresentar em relação ao valor padronizado. A diferença no valor pode ser para mais (por exemplo, +20%) ou para menos (por exemplo, -20%) do valor correto.

A tabela 1 apresenta alguns valores de resistor, seu percentual de tolerância e os limites entre os quais se deve situar o valor real do componente.

Tabela 1

RESISTOR	% TOLERÂNCIA	VALOR DO COMPONENTE (cálculo de tolerância)
1000 Ω	10%	- 10% 100 x 0,90= 900 Ω + 10% 1000 x 1,1 = 1100 Ω O valor real estará entre 900 Ω e 1100 Ω
560 Ω	5%	- 5% 560 x 0,95 = 532 Ω + 5% 560 x 1,05 = 588 Ω Entre 532 Ω e 588 Ω
120 Ω	1%	- 1% 120 x 0,99 = 118,8 Ω + 1% 120 x 1,01 = 121,2 Ω Entre 118,8Ω e 121,2 Ω
330 Ω	10%	Entre 297 Ω e 363 Ω
18 kΩ	20%	Entre 14,4 kΩ e 21,6 kΩ

A tabela 2 apresenta a padronização de valores para fabricação de resistores em tolerância de 5%.

Tabela 2- Série de valores E-24

10	11	12	13	15	16	18	20
22	24	27	30	33	36	39	43
47	51	56	62	68	75	82	91

Encontram-se ainda resistores com os valores da tabela 2, multiplicados por 0,1; 10; 100; 1000; 10000; 100000. Exemplos: 1,1 Ω; 180 Ω; 2700 Ω; 36 kΩ; 56 kΩ; 9,1 MΩ.

Pela tabela, observa-se que os valores padronizados acrescidos das tolerâncias permitem que se obtenha qualquer valor de resistência desejada. Tomando 3 valores da tabela, tem-se:

100 Ω
-10% = 90 Ω
+10% = 110 Ω

120 Ω
-10% = 108 Ω
+10% = 132 Ω

150 Ω
-10% = 135 Ω
+10% = 165 Ω

Simbologia

A figura 2 mostra os símbolos utilizados para a representação dos resistores, indicando o símbolo oficial que deve ser utilizado no Brasil, segundo a norma ABNT.

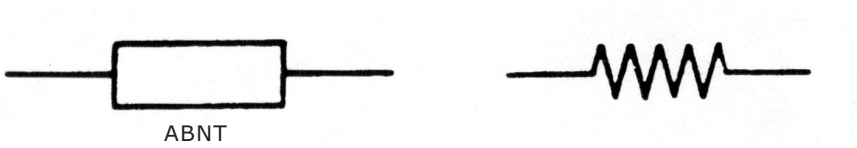


Fig. 2

As características específicas dos resistores em um diagrama aparecem externamente ao símbolo ou no seu interior (Figs. 3 e 4)

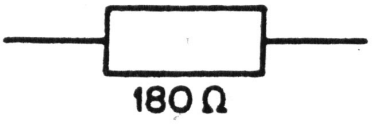


Fig. 3

Fig. 4

Tipos de resistores

Existem três tipos de resistores quanto à constituição:

a – resistores de filme de carbono
b – resistores de carvão
c – resistores de fio

Cada um dos tipos tem, de acordo com sua constituição, características que o tornam mais adequado que os outros em sua classe de aplicação.

A seguir, são apresentados os processos básicos de fabricação e a aplicação do componente.

Resistores de filme de carbono

O resistor de filme de carbono, também conhecido como resistor de película, é constituído por um corpo cilíndrico de cerâmica que serve de base para a fabricação do componente. (Fig. 5)

Fig. 5

Sobre o corpo é depositada uma fina camada em espiral, de material resistivo (filme de carbono) que determina o valor ôhmico do resistor. (Fig. 6)

Fig. 6

Os terminais (lides de conexão) são colocados nas extremidades do corpo, em contato com a camada de carbono. São eles que possibilitam a ligação do elemento ao circuito. (Fig.7)

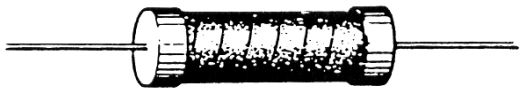


Fig. 7

O corpo do resistor pronto recebe um revestimento que dá acabamento na fabricação e isola o filme de carbono da ação da umidade.

A figura 8 apresenta um resistor pronto, em corte, aparecendo a conexão dos terminais e o filme resistivo.

Fig. 8

As características fundamentais do resistor de filme de carbono são a precisão e a estabilidade do valor resistivo.

Resistores de carvão

O resistor de carvão é constituído por um corpo cilíndrico de porcelana e apresenta tamanho físico reduzido.

No interior da porcelana são comprimidas partículas de carvão que definem a resistência do componente. (Fig. 9)

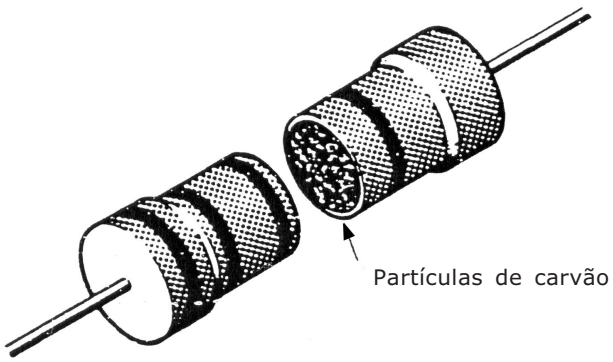


Fig. 9

Com maior concentração de partículas de carvão, o valor resistivo do componente é reduzido. Nesse tipo de resistores, os valores de dissipação e resistência não são precisos. Eles podem ser usados em qualquer tipo de circuito.

Resistores de fio

Constituem-se de um corpo de porcelana ou cerâmica que lhes serve de base.

Sobre o corpo é enrolado um fio especial (por exemplo, níquel-cromo) cujo comprimento e seção determinam o valor do resistor.

A figura 10 apresenta um resistor de fio em corte. Nela aparecem os terminais, o fio enrolado e a camada externa de proteção do resistor.

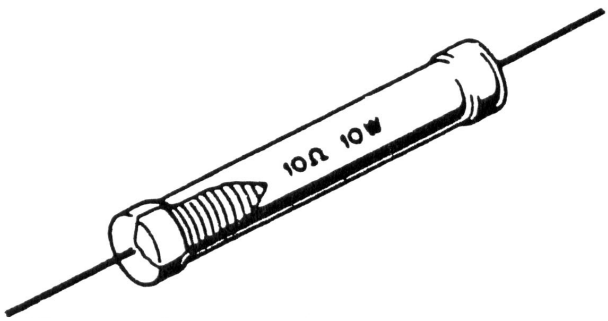


Fig. 10

Os resistores de fio têm capacidade para trabalhar com maior valor de corrente e produzem, normalmente uma grande quantidade de calor quando em funcionamento.

Para facilitar o resfriamento nos resistores que produzem grandes quantidades de calor, o corpo de porcelana maciço é substituído por um tubo oco de porcelana. (Figs. 11 e 12)

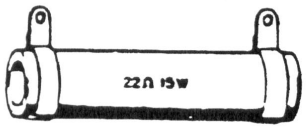


Fig. 11

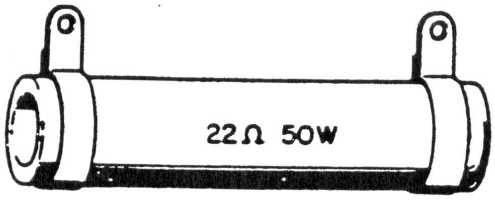


Fig. 12

Código de cores

O valor ôhmico dos resistores e sua tolerância podem ser impressos no corpo do componente, através de anéis coloridos. (Fig. 13)

Fig. 13

A cor de cada anel e sua posição com relação aos demais, corretamente interpretada, fornece dados sobre o valor do componente.

A disposição das cores em forma de anéis possibilita que o valor do componente possa ser lido de qualquer posição.

Interpretação do código

O código se compõe de três cores usadas para representar o valor ôhmico, e um para representar o percentual de tolerância.

Para a interpretação correta dos valores de resistência e tolerância do resistor, os anéis têm que ser lidos em uma seqüência correta.

O primeiro anel colorido a ser lido é aquele que está mais próximo da extremidade do componente. Seguem na ordem – 2º, 3º e 4º anéis coloridos. (Fig. 14)

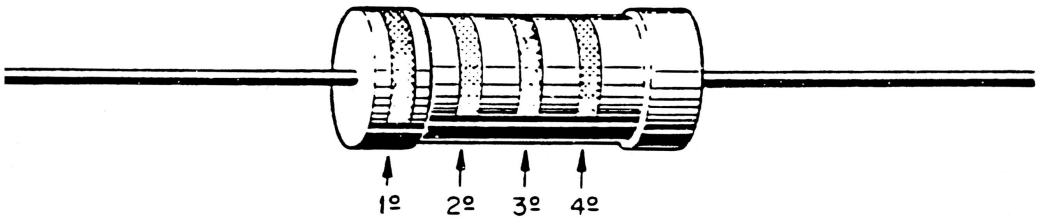


Fig. 14

Os três primeiros anéis coloridos (1º, 2º e 3º) representam o valor do resistor. O quarto anel representa o percentual de tolerância (Fig. 15)

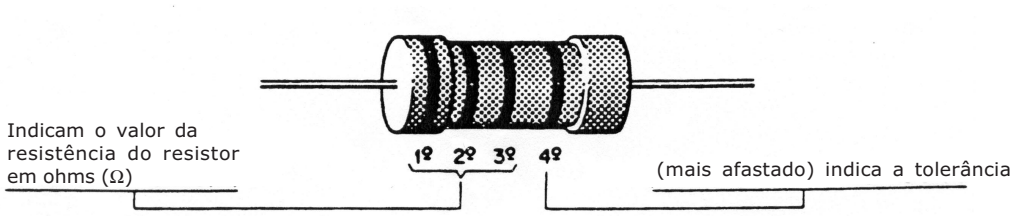
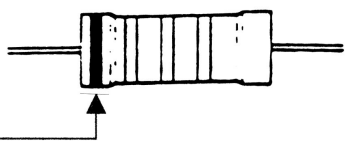


Fig. 15

O primeiro anel colorido representa o primeiro número que formará o valor do resistor.

Ex: 680 Ω 3300 Ω 560000 Ω

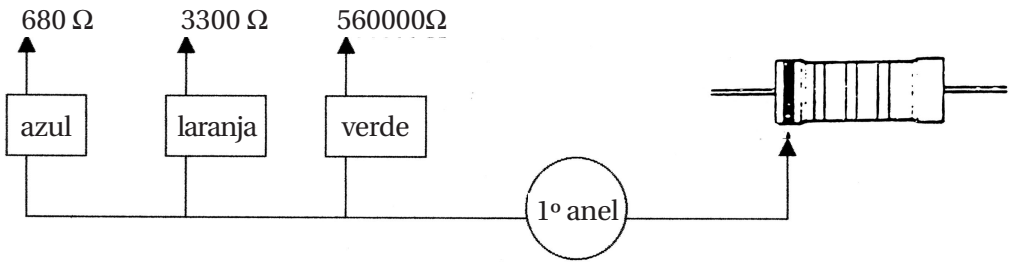


números que são indicados pelo 1º anel

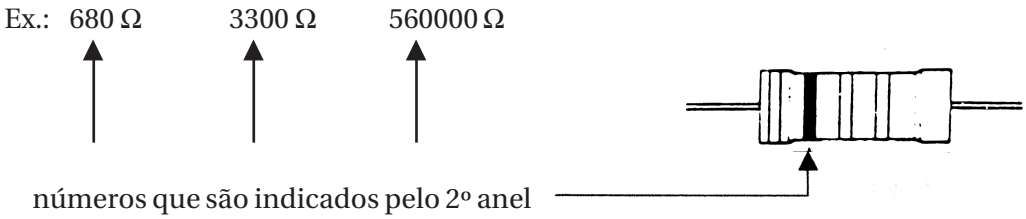
A cada número corresponde uma cor:

preto — 0	amarelo — 4	cinza — 8
marrom — 1	verde — 5	branco — 9
vermelho — 2	azul — 6	
laranja — 3	violeta — 7	

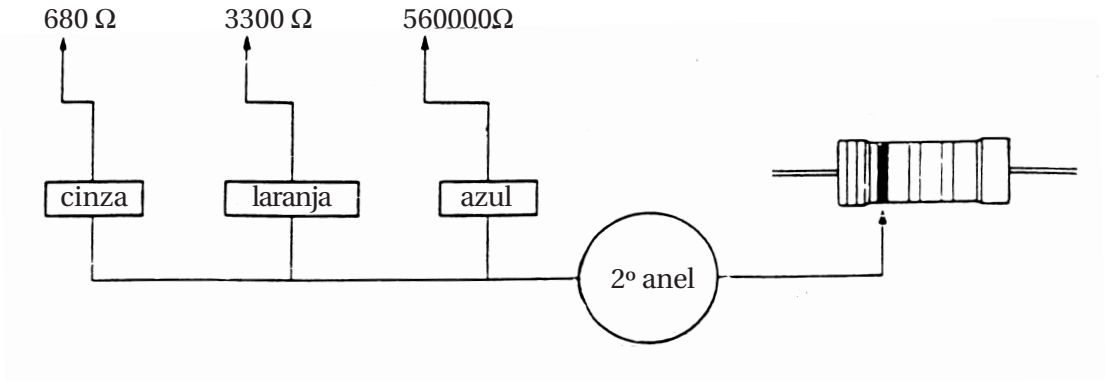
Assim, voltando aos exemplos citados anteriormente, a cor do primeiro anel de cada um dos resistores é:



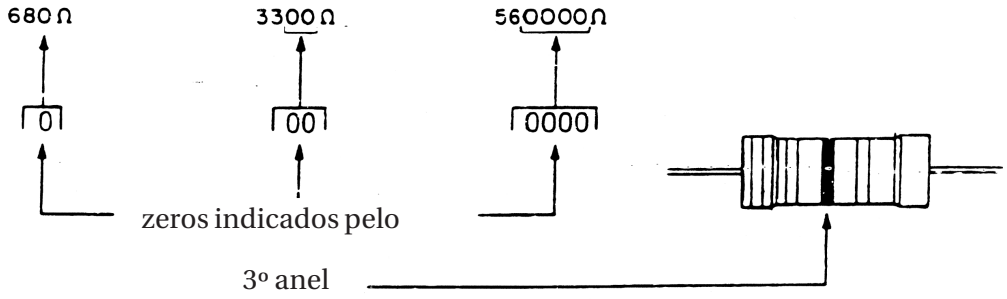
O segundo anel representa o segundo número que forma o valor do resistor.



Desse modo, para os exemplos, a cor do segundo anel é:



O terceiro anel representa o número de zeros que se segue aos dois primeiros algarismos, sendo chamado de fator multiplicativo.



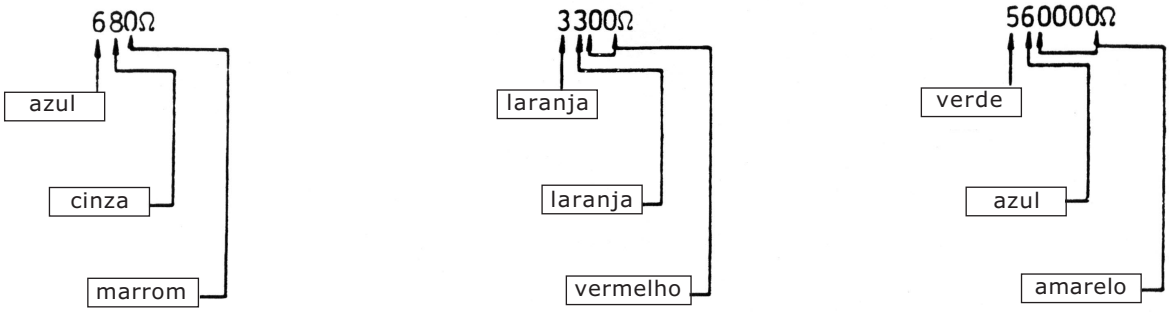
A cada número de zeros corresponde uma cor:

preto — nenhum zero	amarelo — 4 zeros (0000)
marrom — 1 zero (0)	verde — 5 zeros (00000)
vermelho — 2 zeros (00)	azul — 6 zeros (000000)
laranja — 3 zeros (000)	

NOTA

As cores violeta, cinza e branco não são encontradas no 3º anel porque os resistores padronizados não alcançam valores que necessitem de 7, 8 ou 9 zeros.

Os resistores usados como exemplo são representados assim:



O quarto anel colorido representa a tolerância do resistor.

A cada percentual corresponde uma cor característica.

prateado — ± 10%
dourado — ± 5%
vermelho — ± 2%
marrom — ± 1%

NOTA

A ausência do quarto anel indica a tolerância de 20%.

Cores dos quatro anéis, acrescendo-se a tolerância de 10% aos valores dos resistores usados como exemplo:

680 Ω ± 10% — azul, cinza, marrom, prateado

3300 Ω ± 10% — laranja, laranja, vermelho, prateado

560000 Ω ± 10% — verde, azul, amarelo, prateado

Uso do código para resistores de 1 Ω a 10 Ω

Para representar *resistores de 1 a 10* Ω (exemplo: 2,7 Ω) o código estabelece o uso do DOURADO NO 3º ANEL. O dourado nesse anel indica a existência de vírgula entre os dois primeiros números.

Seguem alguns exemplos:

1,8 Ω ± 5% marrom, cinza, dourado, dourado

4,7 Ω ± 10% amarelo, violeta, dourado, prateado

8,2 Ω ± 20% cinza, vermelho, dourado (não existe o 4º anel)

Uso do código para resistores abaixo de 1 Ω

Para representar *resistores abaixo de 1* Ω (exemplo: 0,27 Ω) o código determina o uso do PRATEADO NO 3º ANEL. O prateado do terceiro anel significa a existência de 0, antes dos dois primeiros números.

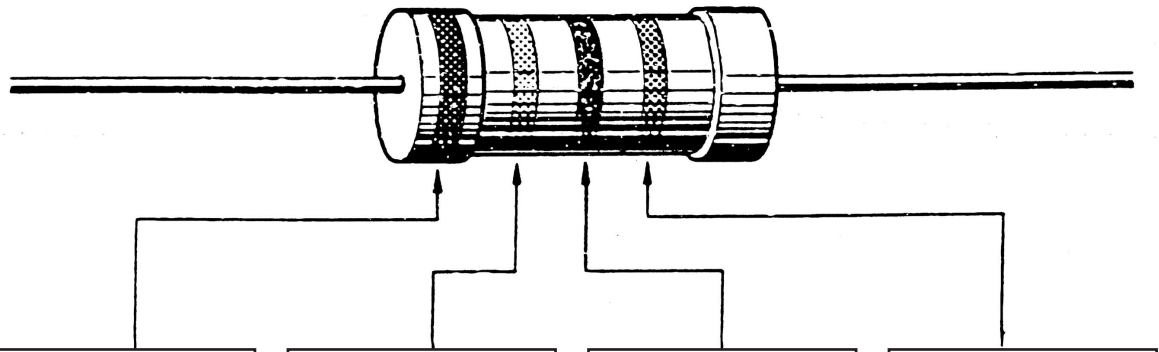
Seguem alguns exemplos:

0,39 Ω ± 20% laranja, branco, prateado, sem cor

0,15 Ω ± 10% marrom, verde, prateado, prateado

A tabela a seguir apresenta o código de cores completo:

COR	DÍGITOS SIGNIFICATIVOS	MULTIPLICADOR	TOLERÂNCIA
preto	0	1 X	
marrom	1	10 X	
vermelho	2	100 X	
laranja	3	1000 X	
amarelo	4	10000 X	
verde	5	100000 X	
azul	6	1000000 X	
violeta	7	—	
cinza	8	—	
branco	9	—	
ouro			± 5%
prata			± 10%
sem cor			± 20%



1º Faixa 1º Dígito	
Cor	**Dígito**
Preto	0
Marrom	1
Vermelho	2
Laranja	3
Amarelo	4
Verde	5
Azul	6
Violeta	7
Cinza	8
Branco	9

2º Faixa 2º Dígito	
Cor	**Dígito**
Preto	0
Marrom	1
Vermelho	2
Laranja	3
Amarelo	4
Verde	5
Azul	6
Violeta	7
Cinza	8
Branco	9

3º Faixa Multiplicador	
Cor	**Multiplicador**
Preto	1
Marrom	10
Vermelho	100
Laranja	1000
Amarelo	10000
Verde	100000
Azul	1000000
Prata	0,01
Ouro	0,1

4º Faixa Tolerância	
Cor	**Tolerância**
Prata	± 10%
Ouro	± 5%
Sem Faixa	± 20%

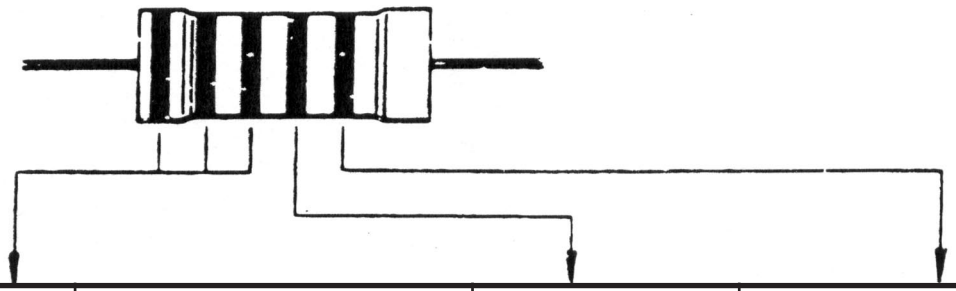
Resistores de 5 anéis

Em algumas aplicações são necessários resistores com valores mais precisos, que se situam entre os valores padronizados.

Esses resistores têm o seu valor impresso no corpo através de cinco anéis coloridos. (Fig. 16)

Fig. 16

Nesses resistores, os três primeiros anéis são dígitos significativos, o quarto anel representa o número de zeros (fator multiplicativo) e o quinto anel é a tolerância. (Fig. 17)



COR	DÍGITOS SIGNIFICATIVOS	MULTIPLICADOR	TOLERÂNCIA
preto	0	1 X	±1%
marrom	1	10 X	± 2%
vermelho	2	100 X	
laranja	3	1000 X	
amarelo	4	10000 X	
verde	5	100000 X	
azul	6	1000000 X	
violeta	7	—	
cinza	8	—	
branco	9	—	
ouro		0,1X	
prata		0,01X	

Resistores ajustáveis

São resistores cujo valor de resistência pode ser ajustado, dentro de uma faixa pré-definida, sendo utilizados em circuitos que exijam calibração.

A figura 18 mostra alguns resistores ajustáveis.

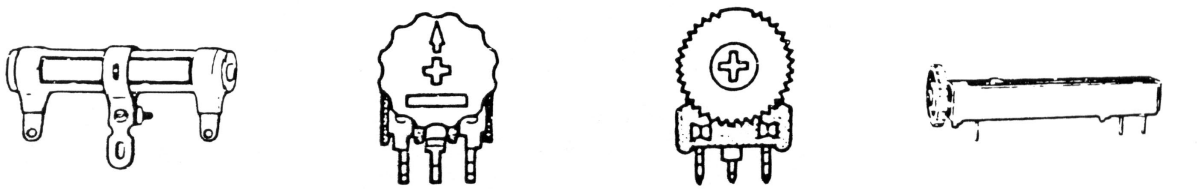


Fig. 18

Tipos

Existem dois tipos de resistores ajustáveis:

— resistor ajustável de fio (Fig. 19)

— trimpot (Fig. 20)

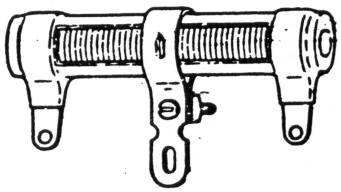


Fig. 19

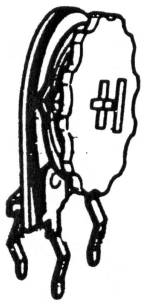


Fig. 20

A constituição física dos resistores ajustáveis não é preparada para suportar trocas freqüentes de valor. Esse tipo de componente é utilizado em pontos de um circuito onde o ajuste é feito uma vez e não é mais alterado.

Os resistores ajustáveis (de fio e trimpot) são usados para ajustes definitivos nos circuitos.

Resistor ajustável de fio

É um "resistor de fio" ao qual foi acrescentado um terceiro terminal, denominado de cursor. (Fig. 21)

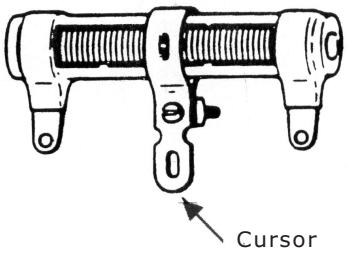


Fig. 21

O cursor é móvel, deslizando por contato elétrico sobre as espiras de fio que constituem o resistor, podendo ser fixado na posição desejada.

Os resistores ajustáveis de fio, em geral, dissipam grande quantidade de calor, porque trabalham com correntes elevadas.

Por essa razão, normalmente são montados em locais com boa ventilação, sendo ligados aos circuitos através de condutores. (Fig. 22)

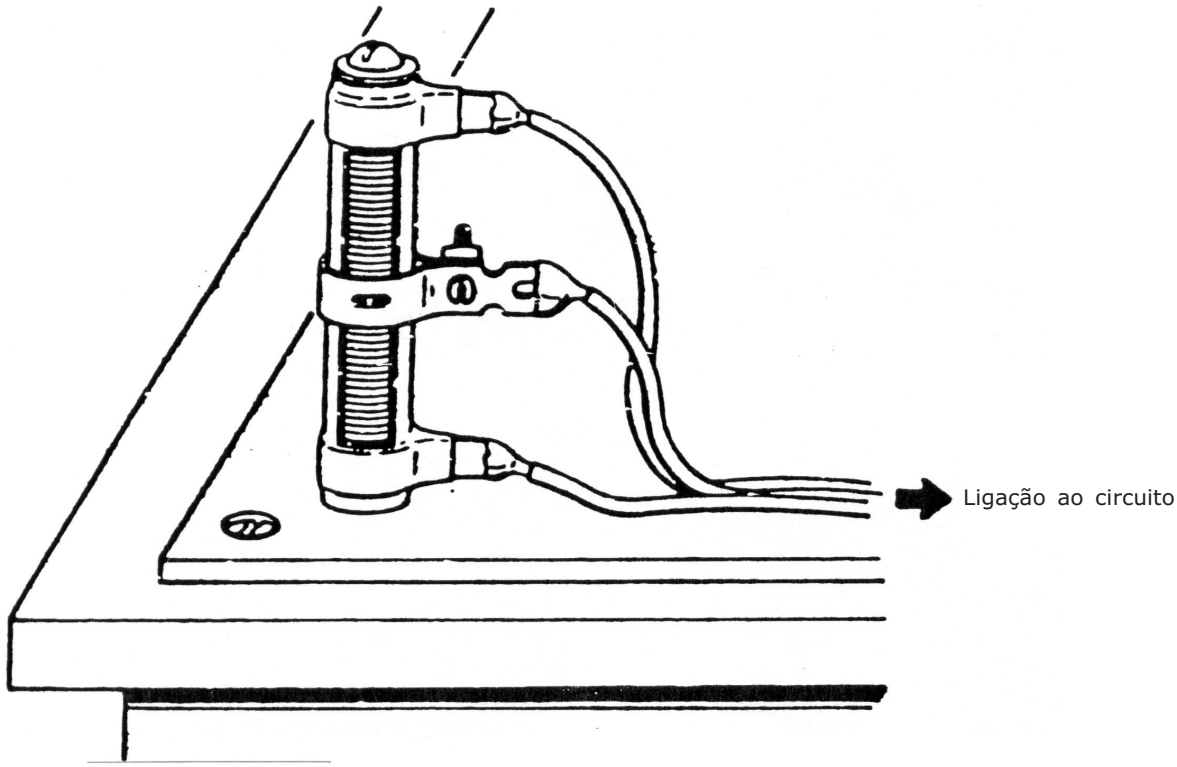


Fig. 22

Trimpot

É um tipo de resistor ajustável, utilizado em pontos de ajuste onde as correntes são pequenas (da ordem de miliampères ou menos).

As figuras 23 e 24 mostram dois tipos de trimpot.

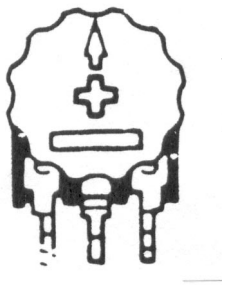


Fig. 23

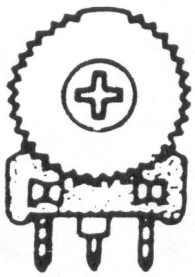


Fig. 24

Pelo fato de dissiparem pequenas quantidades de calor, os trimpots podem ser montados no próprio circuito onde estão atuando. (Fig. 25)

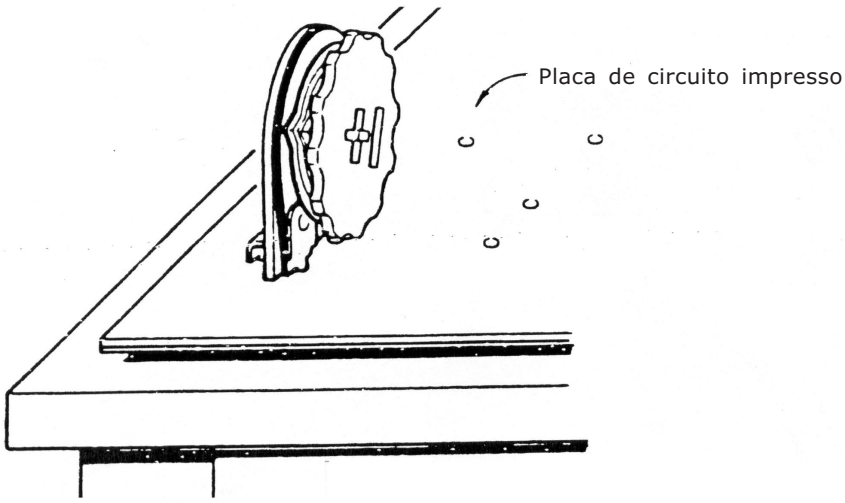


Fig. 25

Existem trimpots verticais e horizontais, o que permite uma opção para montagem mais adequada a cada aplicação.

As figuras 26 e 27 mostram trimpots vertical e horizontal.

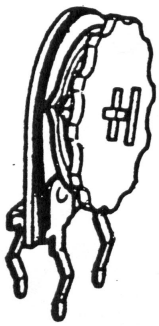


Fig. 26

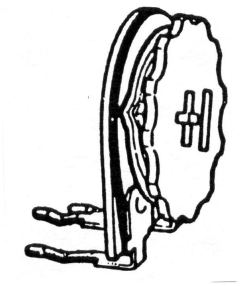


Fig. 27

Características dos resistores ajustáveis

Os resistores ajustáveis apresentam, impresso no corpo, o valor da resistência entre os dois terminais extremos. (Figs. 28 e 29).

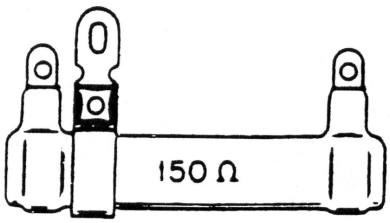


Fig. 28

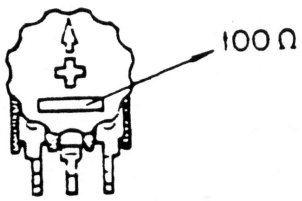


Fig. 29

A resistência entre os terminais extremos de um resistor ajustável é a mesma, qualquer que seja a posição do cursor.

Para obter um valor de resistência menor do que o valor total de um resistor ajustável, utiliza-se um dos terminais extremos e o cursor. (Figs. 30 e 31)

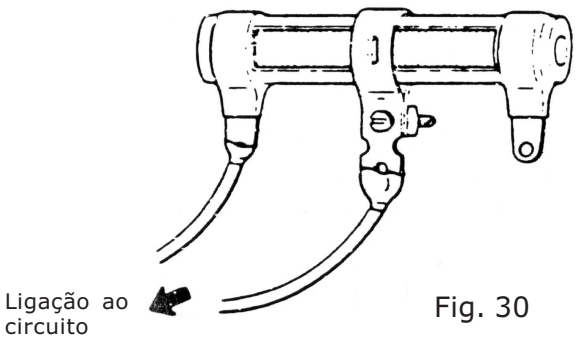


Fig. 30

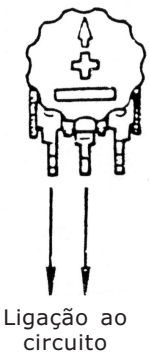


Fig. 31

Desta forma, a resistência ôhmica da parte utilizada será menor que a resistência de todo o resistor.

Observando-se, por exemplo, um resistor ajustável de 100 Ω entre os extremos e posicionando-se o terminal deslizante no centro tem-se:

a) 100 Ω, medindo com ohmímetro entre os terminais extremos. (Figs. 32 e 33)

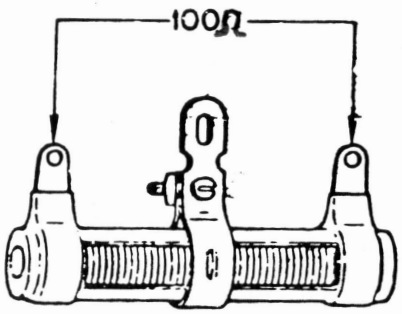


Fig. 32

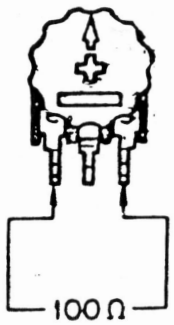


Fig. 33

b) 50 Ω, medindo entre um dos extremos e o cursor. (fixo no centro do resistor). Nesse caso, utiliza-se apenas a metade do resistor, obtendo a metade da resistência total. (Figs. 34 e 35)

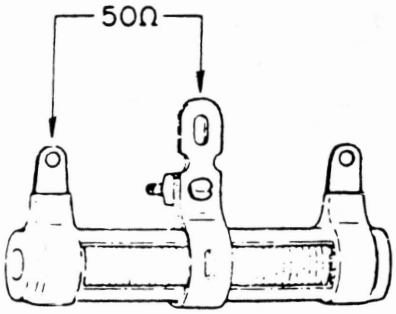


Fig. 34

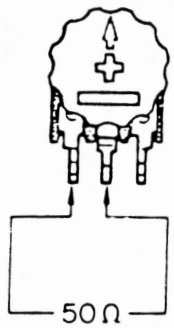


Fig. 35

Os outros 50 Ω que completam o valor total do resistor, estão na parte do resistor que não será utilizada. (Figs. 36 e 37)

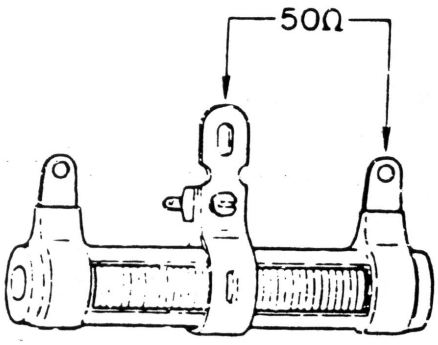


Fig. 36

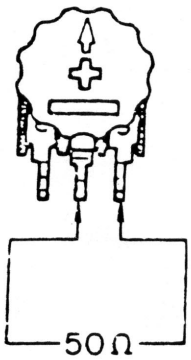


Fig. 37

Através do ajuste correto da posição do cursor podem-se obter os mais diversos valores de resistência a partir de um resistor ajustável (valores sempre menores que os extremos).

Os resistores ajustáveis se comportam como dois resistores em série, com uma ligação central. (Fig. 38)

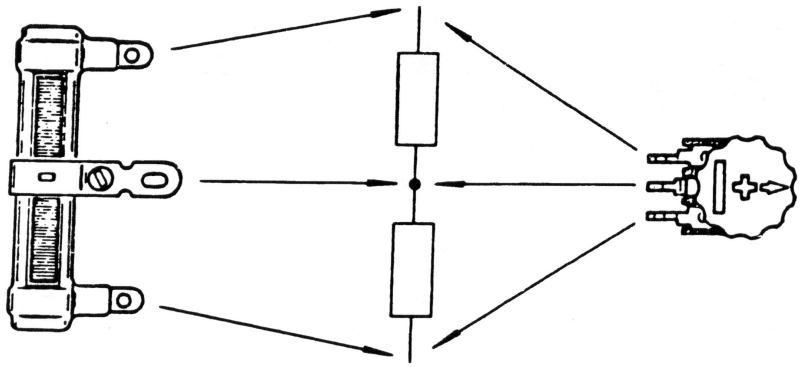


Fig. 38

Potenciômetros

São resistores com derivação, a qual permite a variação do valor resistivo pelo movimento de um eixo. (Fig. 39)

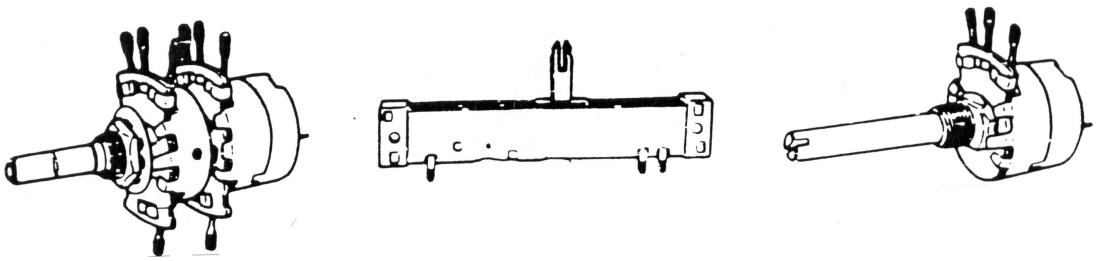


Fig. 39

São usados nos equipamentos para permitir a mudança do regime de operação.

Exemplos: potenciômetro de volume — permite o aumento ou diminuição do nível de intensidade do som.

potenciômetro de brilho — permite o controle da luminosidade das imagens.

Funcionamento

Entre os dois terminais externos, o potenciômetro é um resistor comum. Sobre este resistor desliza um terceiro terminal chamado de cursor, que permite utilizar apenas uma parte da resistência total do componente (de um extremo até o cursor).

A figura 40 mostra um potenciômetro, indicando o movimento do eixo para variação da resistência.

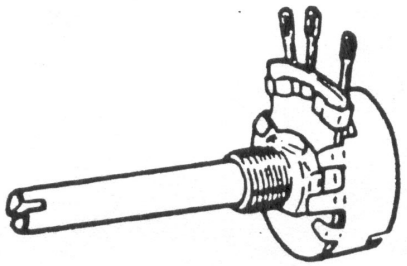


Fig. 40

Simbologia

A figura 41 mostra os símbolos utilizados para representar os potenciômetros, salientando o símbolo normalizado pela ABNT.

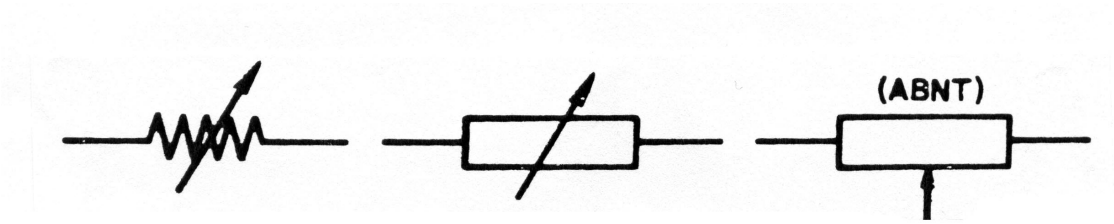


Fig. 41

Os componentes cujo valor está sujeito a modificação constante (potenciômetros usados no controle de volume, por exemplo) são denominados de "variáveis". Nos seus símbolos aparece uma seta na ponta da diagonal.

São chamados de ajustáveis os componentes cujo valor é ajustado na calibração, não sofrendo mais alteração. O resistor ajustável é um exemplo característico deste tipo de componentes.

Tipos

Existem dois tipos de potenciômetros:

- de fio
- de carbono
  - linear
  - logarítmico

Potenciômetro de fio

Sobre uma tira de fibra em forma de anel são enroladas várias espiras de fio especial (com resistividade elevada). Fixam-se terminais nas extremidades da fibra e as pontas do fio, formando um resistor. (Fig. 42)

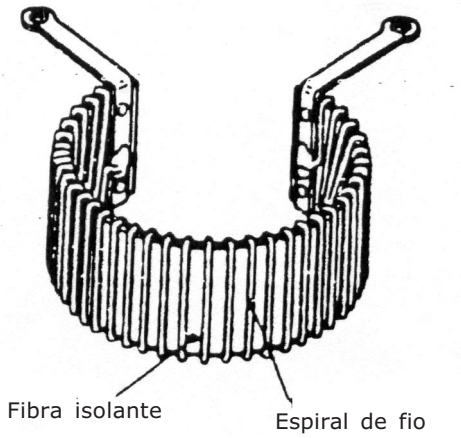


Fig. 42

Sobre o topo da fibra corre o contato móvel do cursor, que é ligado mecanicamente ao eixo do componente. O cursor é ligado ao terminal do potenciômetro. (Fig. 43)

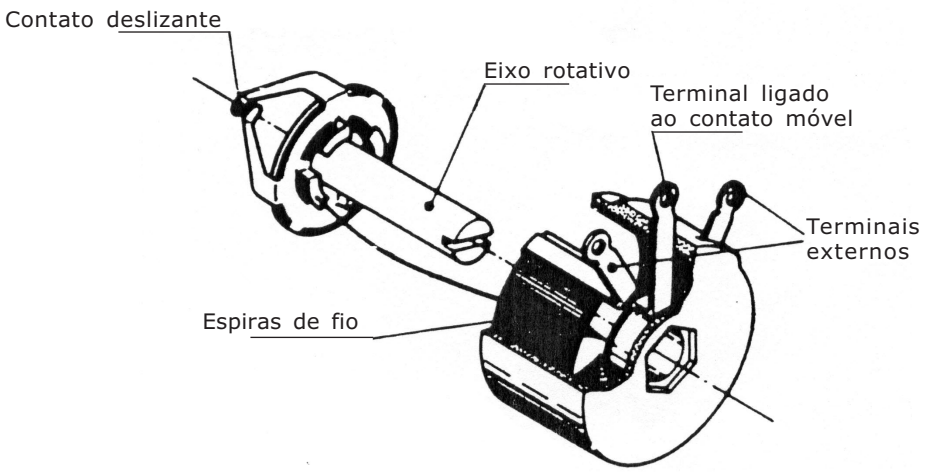


Fig. 43

Os potenciômetros de fio para circuito eletrônico são encontrados em valores de até 22 kΩ de resistência em potências de dissipação de até 4 W.

Nos potenciômetros de fio, a resistência entre o cursor e os extremos varia uniformemente com o movimento do eixo.

Se o eixo foi movimentado até a metade do curso total, a resistência entre o cursor e os extremos é a metade da resistência total. (Fig. 44)

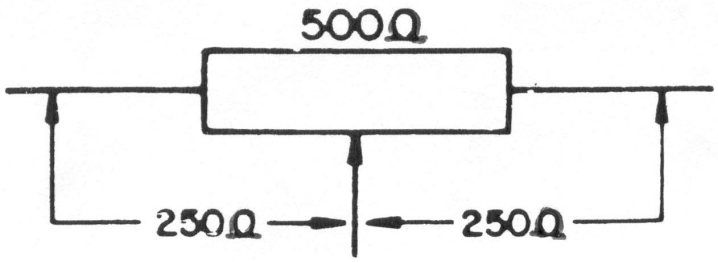


Fig. 44

Se o cursor foi movimentado ¼ do curso total em relação a um extremo, a resistência entre este extremo e o cursor é ¼ da resistência total. Conseqüentemente, entre o outro extremo e o cursor haverá ¾ da resistência. (Fig. 45)

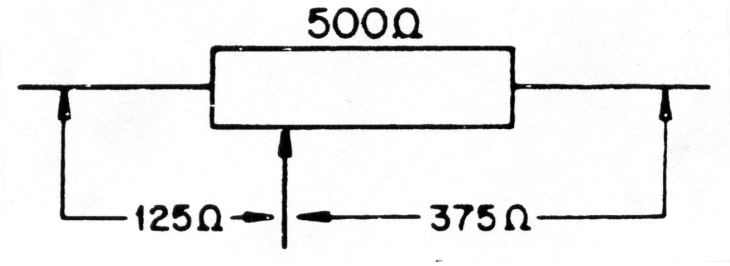


Fig. 45

Componentes com esta característica são chamados de *lineares*. Portanto os potenciômetros de fio são sempre lineares.

NOTA

Nos potenciômetros lineares, a variação da resistência é proporcional ao movimento do eixo.

Potenciômetro de carbono (carvão)

É semelhante aos potenciômetros de fio na sua construção. Difere apenas em um aspecto: nos potenciômetros de carvão, as espiras de fio especial (do potenciômetro de fio) são substituídas por uma camada de carbono que é depositada sobre uma pista de material isolante. (Fig. 46)

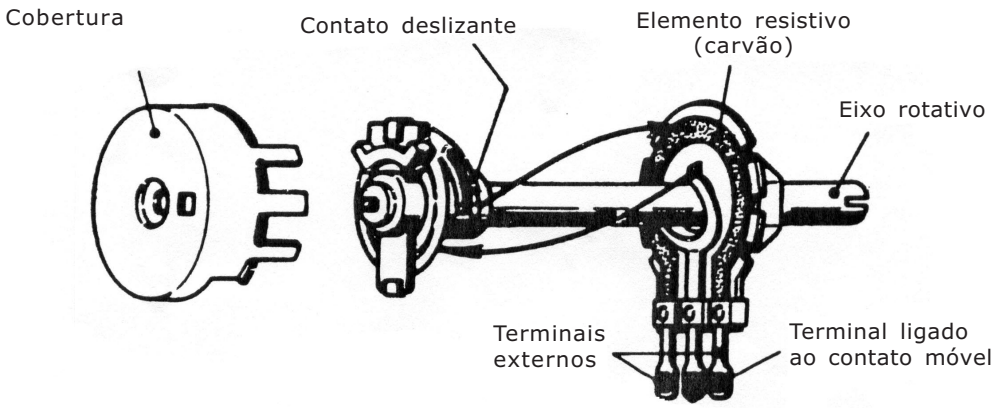


Fig. 46

Os potenciômetros de carbono podem ser lineares ou logarítmicos.

Os potenciômetros de carvão lineares são semelhantes aos de fio.

A variação da resistência entre um extremo e o cursor é proporcional ao movimento do eixo. Assim:

POSIÇÃO DO CURSOR	RESISTÊNCIA ENTRE UM EXTREMO E O CURSOR
metade do curso total	metade da resistência total
1/3 do curso total	1/3 da resistência total
3/4 do curso total	3/4 da resistência total

A variação da resistência dos potenciômetros lineares em relação à posição do cursor se apresenta conforme o gráfico da figura 47.

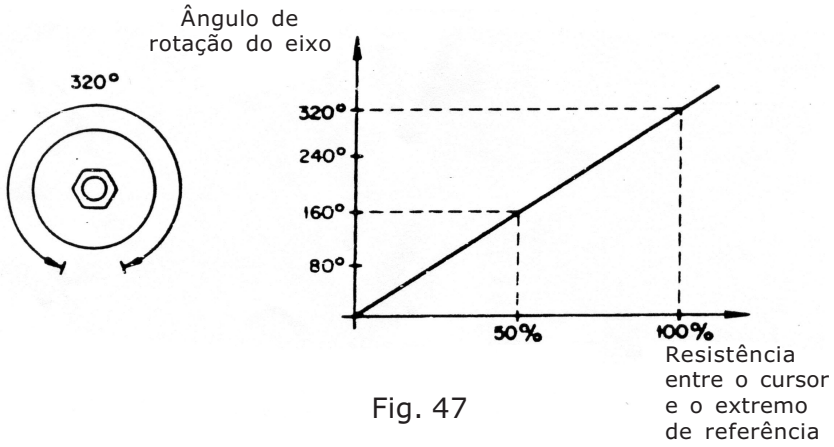


Fig. 47

Os potenciômetros de carvão logarítmicos comportam-se de forma diferente, com respeito à relação entre posição do cursor e resistência: quando se inicia o movimento do cursor, a resistência sofre pequena variação. À medida que o cursor vai sendo movimentado, a variação da resistência torna-se cada vez maior.

A variação da resistência entre um extremo e o cursor é desproporcional ao movimento do eixo. Assim:

POSIÇÃO DO CURSOR	RESISTÊNCIA ENTRE UM EXTREMO E O CURSOR
1/4 do curso total	1/20 da resistência total
1/2 do curso total	1/5 da resistência total
3/4 do curso total	1/2,5 da resistência total

O gráfico da figura 48 mostra como a resistência varia com relação à posição do eixo nos potenciômetros logarítmicos.

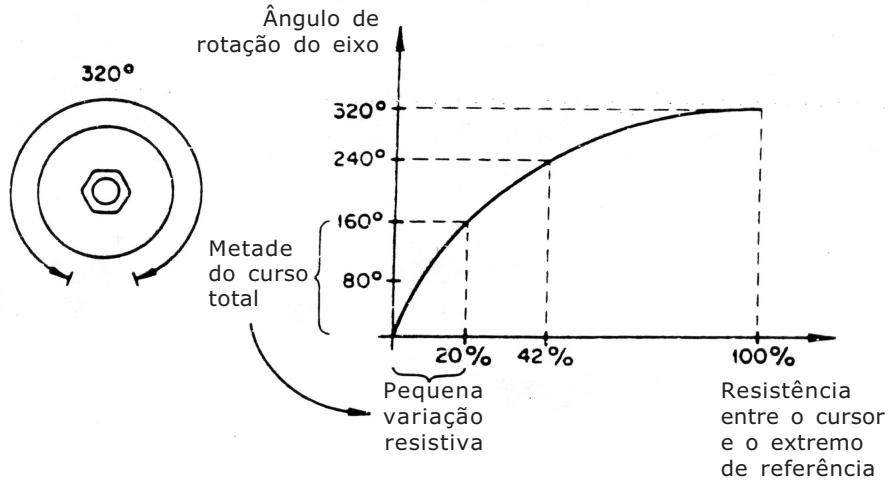


Fig. 47

Os potenciômetros logarítmicos são usados principalmente em controle de volume.

Potenciômetros com chave

Em algumas ocasiões, utiliza-se o potenciômetro para controle de volume e ligação do aparelho. Para cumprir esta finalidade, são fabricados potenciômetros logarítmicos com uma chave presa ao eixo.

A figura 49 apresenta um potenciômetro logarítmico com chave.

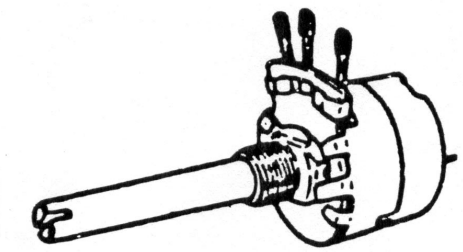


Fig. 49

Potenciômetros duplos

Os potenciômetros duplos são utilizados principalmente em aparelhos de som estereofônicos.

Existem modelos de potenciômetros duplos em que um único eixo comanda os dois potenciômetros (Fig. 50), e também modelos em que cada potenciômetro tem um eixo próprio. (Fig. 51)

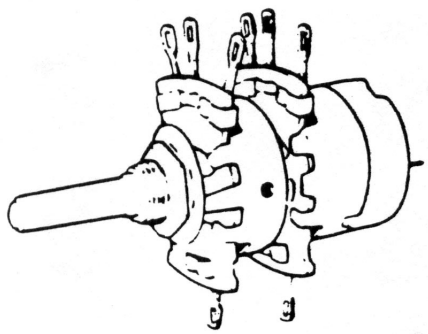


Fig. 50

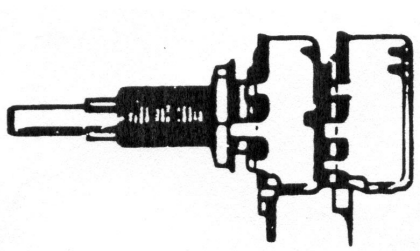


Fig. 51

Potenciômetros deslizantes

São potenciômetros em que o movimento rotativo do eixo é substituído por um movimento linear do cursor. (Fig. 52)

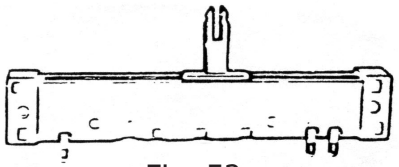


Fig. 52

Aplicação dos resistores ajustáveis e potenciômetros

Os resistores ajustáveis — e principalmente os potenciômetros — são utilizados principalmente para obtenção de divisores de tensão com tensão de saída variável.

As tensões de saída dos divisores são estabelecidas pela relação entre os resistores que os compõem.

Incluindo resistores ajustáveis ou potenciômetros na constituição dos divisores, a tensão de saída torna-se variável em função da resistência com que estes elementos são ajustados.

Este tipo de divisor é muito utilizado nos pontos dos circuitos que exigem calibração de ponto de operação.

De acordo com a posição do elemento variável, o divisor pode fornecer:

— um valor de tensão máximo;

— um valor de tensão mínimo;

— valores de tensão máximo e mínimo.

LEI DE OHM

Nesta seção...

Determinação experimental da Lei de Ohm ◀

Aplicações da Lei de Ohm ◀

Medida de corrente contínua (CC) ◀

Potência elétrica em corrente contínua ◀

Potência nominal ◀

Circuitos série de corrente contínua ◀

Circuitos paralelo de corrente contínua ◀

Divisor de tensão ◀

Circuito de ponte balanceada ◀

3

Lei de Ohm

A Lei de Ohm estabelece uma relação entre as grandezas elétricas tensão, corrente e resistência em um circuito.

É a lei básica da eletricidade e da eletrônica. Seu conhecimento é fundamental para o estudo e compreensão dos circuitos elétricos.

Determinação experimental da Lei de Ohm

A Lei de Ohm pode ser obtida a partir de medidas de tensão, corrente e resistência realizadas em circuitos elétricos simples, compostos por uma fonte geradora e um resistor.

Montando-se um circuito elétrico composto por uma fonte geradora de 9V e um resistor de 100 Ω verifica-se que a corrente circulante é de 90 mA. (Fig. 1)

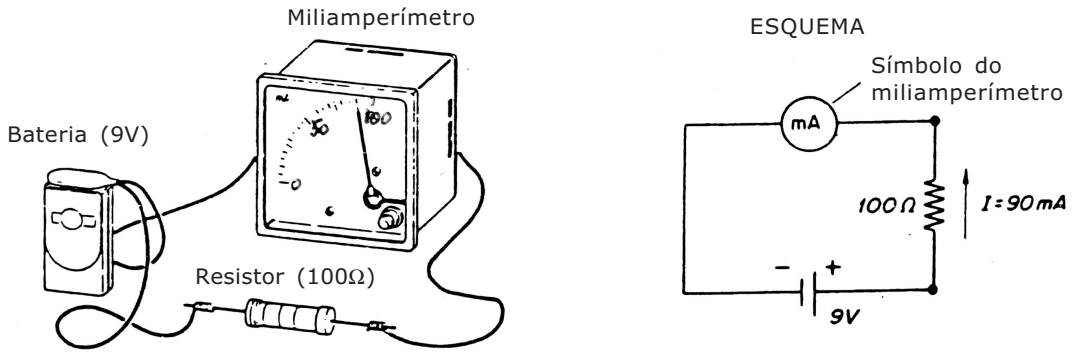
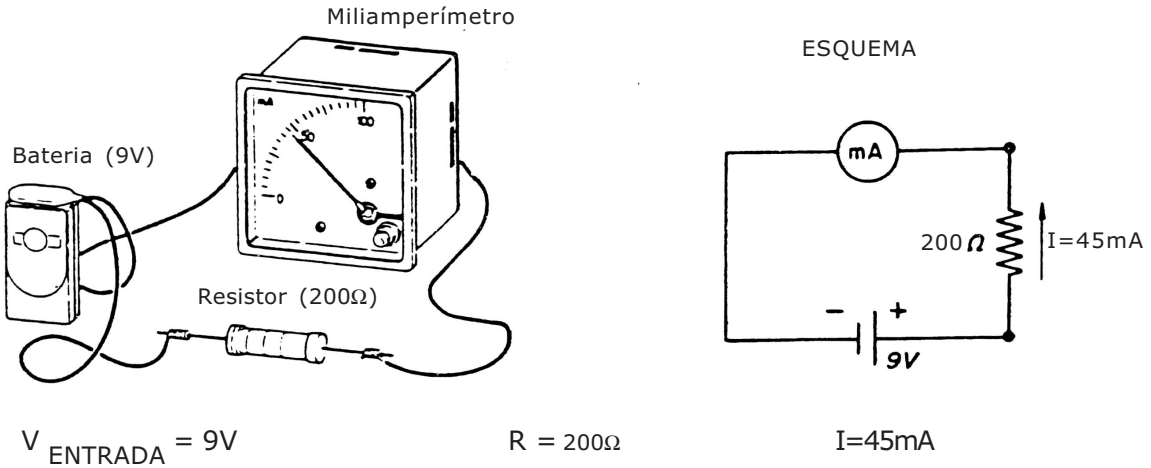


Fig. 1

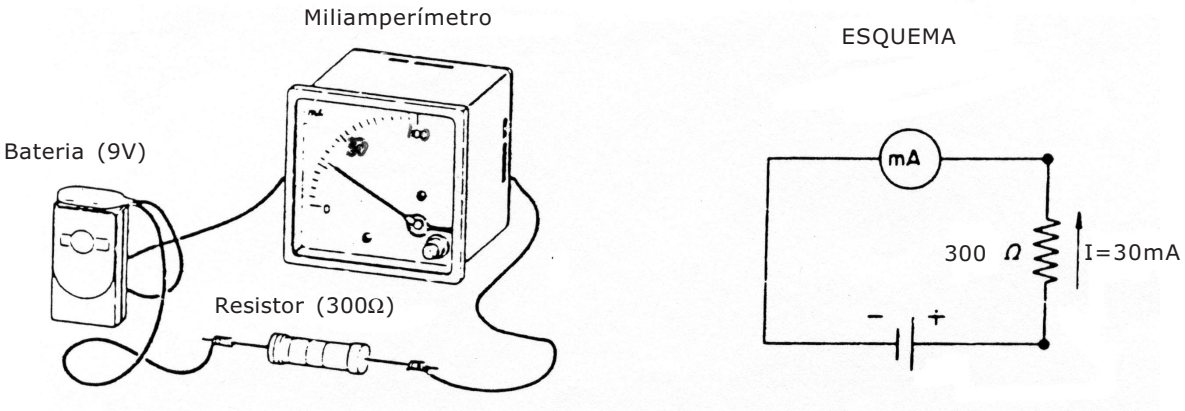
Substituindo-se o resistor de 100Ω por outro de 200Ω a resistência do circuito torna-se maior. O circuito impõe maior oposição à passagem da corrente, fazendo com que a corrente circulante seja menor. (Fig. 2)



$V_{ENTRADA}$ = 9V R = 200Ω I=45mA

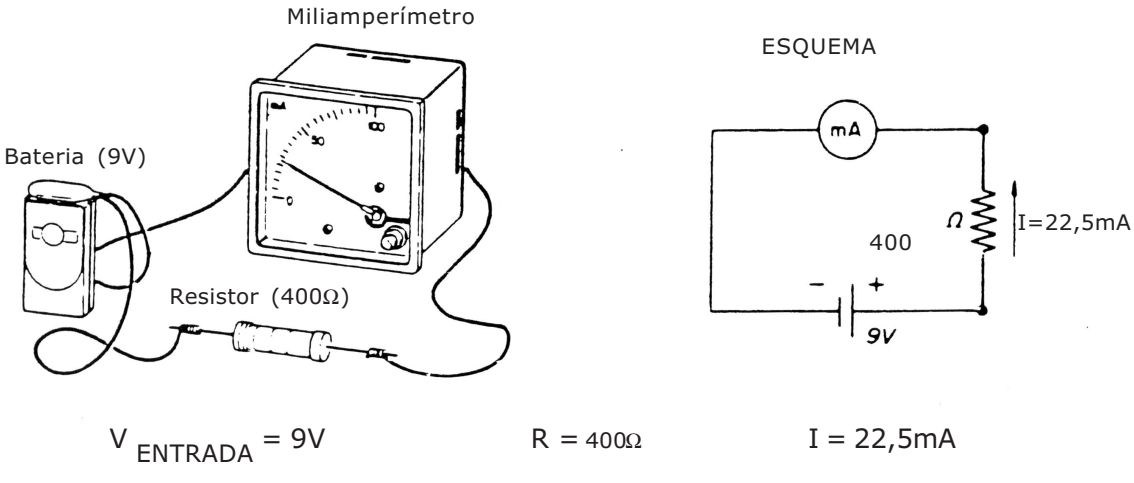
Fig. 2

Aumentando-se sucessivamente o valor do resistor, a oposição à passagem da corrente é cada vez maior e a corrente, cada vez menor. (Figs. 3 e 4)



$V_{ENTRADA}$ = 9V R = 300Ω I = 30mA

Fig. 3



$V_{ENTRADA} = 9V$ R = 400Ω I = 22,5mA

Fig. 4

Colocando em uma tabela os valores obtidos nas diversas situações, tem-se:

SITUAÇÃO	TENSÃO (V)	RESISTÊNCIA (Ω)	CORRENTE (I)
1	9V	100 Ω	90 mA
2	9V	200 Ω	45 mA
3	9V	300 Ω	30 mA
4	9V	400 Ω	22,5 mA

Observando-se a tabela de valores verifica-se que

a) a tensão aplicada ao circuito é sempre a mesma, portanto as variações da corrente são provocadas pela mudança de resistência do circuito.

NOTA

Se a resistência do circuito aumenta, a corrente do circuito diminui.

b) dividindo-se o valor de tensão aplicada pela resistência do circuito, obtém-se o valor da intensidade da corrente. Assim:

Tensão aplicada		Resistência		Corrente
9 V	÷	100 Ω	=	90 mA
9 V	÷	200 Ω	=	45 mA
9 V	÷	300 Ω	=	30 mA
9 V	÷	400 Ω	=	22,5 mA

Conclui-se, então que é possível estabelecer

$$I = V/R$$

como a equação matemática que determina o *valor da intensidade de corrente* que flui em um circuito elétrico.

Esta equação é conhecida como *equação matemática da Lei de Ohm*.

Com base nessa equação, pode-se determinar o enunciado da Lei de Ohm:

A intensidade da corrente elétrica em um circuito é diretamente proporcional à tensão aplicada e inversamente proporcional a sua resistência.

Aplicações da Lei de Ohm

A Lei de Ohm pode ser utilizada, através da sua equação, para determinar os valores de Tensão (V), Corrente (I) ou Resistência (R) em um circuito.

Sempre que se conhecem dois valores em um circuito (V e I; I e R ou V e R) o terceiro valor, desconhecido, pode ser determinado pela Lei de Ohm.

Para tornar mais simples o uso da equação da Lei de Ohm costuma-se usar um "triângulo". (Fig. 5)

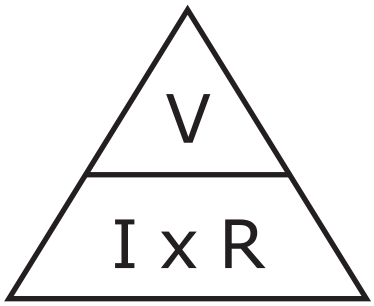


Fig. 5

Quando se deseja determinar a intensidade da corrente (I) que flui em um circuito, coloca-se o dedo sobre a letra I do triângulo. (Fig. 6)

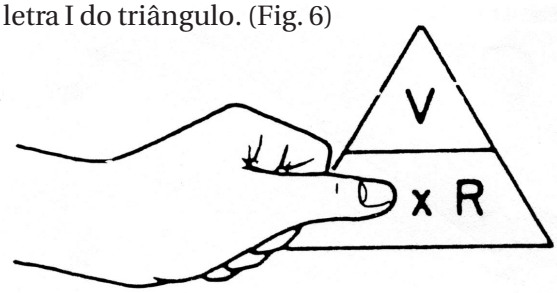
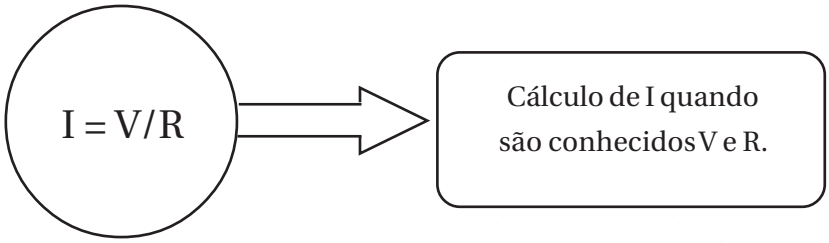


Fig. 6

Com a letra I (Corrente) coberta, o triângulo fornece a equação que deve ser usada para calcular a corrente do circuito:



Quando for necessário determinar a resistência (R) de um circuito, deve-se cobrir a letra R do triângulo e a equação necessária será encontrada. (Fig. 7)

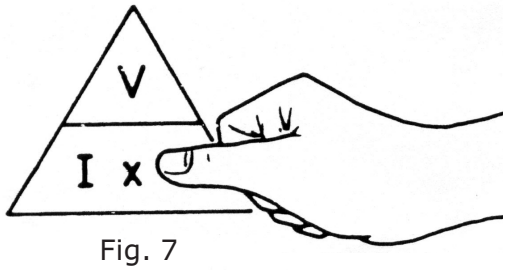


Fig. 7

Da mesma forma, pode-se determinar a tensão aplicada em um circuito quando se conhecem a corrente e a resistência. (Fig. 8)

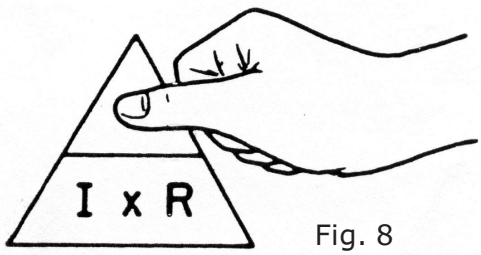


Fig. 8

Para que as equações decorrentes da Lei de Ohm sejam utilizadas, as grandezas elétricas devem ter seus valores expressos nas unidades fundamentais volt, ampère e ohm.

NOTA

Quando os valores de um circuito estiverem expressos em múltiplos ou submúltiplos das unidades, devem ser convertidos para as unidades fundamentais antes de serem usados nas equações.

APLICAÇÃO

Exercícios sobre a Lei de Ohm

1 – Uma lâmpada utiliza uma alimentação de 6V e tem 36Ω de resistência. Qual a corrente consumida pela lâmpada quando ligada?

Dados:

V = 6V I = ?

R = 36 Ω

I = V/R

Como os valores de V e R já estão nas unidades fundamentais volt e ohm, basta aplicá-los na equação:

I = V/R I = 6V/36 Ω I = 0,166 A

O resultado é dado também na unidade fundamental de intensidade de corrente. A resposta indica que circulam 0,166 A ou 166 mA quando a lanterna é ligada.

A figura 9 mostra o miliamperímetro com a indicação do valor da corrente consumida pela lâmpada.

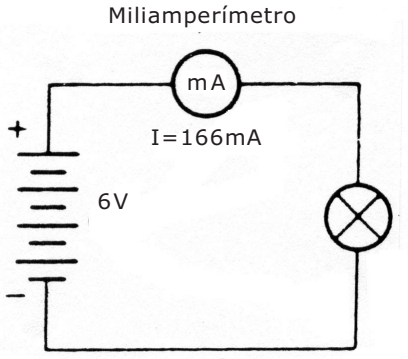


Fig. 9

2 – O motor de um carrinho de autorama atinge a rotação máxima quando recebe 9V da fonte de alimentação. Nesta situação a corrente do motor é de 230 mA. Qual é a resistência do motor?

Dados: V = 9V

I = 230 mA ou 0,23 A

R = ? R = V/I R = 9V/0,23 A R = 39,1 Ω

3 – Um resistor de 22 kΩ foi conectado a uma fonte cuja tensão de saída é desconhecida. Um miliamperímetro colocado em série no circuito indicou uma corrente de 0,75 mA. Qual a tensão na saída da fonte?

Dados: I = 0,75 mA ou 0,00075 A

R = 22 kΩ ou 22000 Ω

V = ?

V = R x I V = 22000 x 0,00075

V = 16,5 V

4 – Dados dois valores de um circuito, determinar o terceiro:

V = 10V

R = 330 Ω I = V/R $I = \frac{10\,V}{330\,\Omega}$ I = 0,303 A ou

I = _____ A I = 30,3 mA

R = 12 kΩ

I = 18 mA V = RI V = 12000 Ω x 0,018 A V = 216 V

V = _____ V

V = 30V

I = 0,37 A R = V/I $R = \frac{30\,V}{0,37\,A}$ R = 81 Ω

R = _____ Ω

Medida de corrente contínua (CC)

A medição de corrente contínua consiste na utilização correta de um instrumento com o objetivo de determinar a intensidade da corrente que flui em um circuito.

Instrumentos de medida da intensidade da corrente

A intensidade da corrente que flui entre dois pontos pode ser medida através de
— amperímetros, miliamperímetros ou microamperímetros;
— multímetros.

Amperímetros, miliamperímetros e microamperímetros

São instrumentos simples destinados à medida da intensidade da corrente. Dependendo da estimativa do valor que será medido, escolhe-se um dos três tipos.

A figura 10 mostra um amperímetro (A), um miliamperímetro (mA) e um microamperímetro (μA).

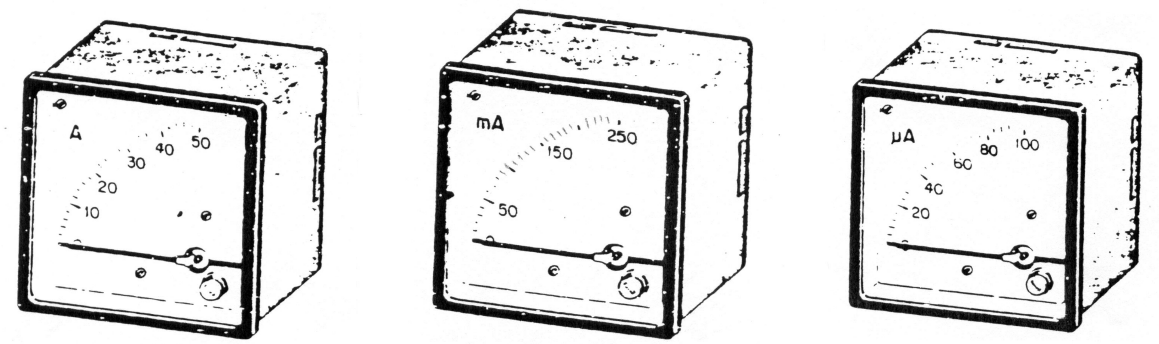


Fig. 10

Os medidores de corrente contínua são indicados pelo símbolo . (Fig. 11)

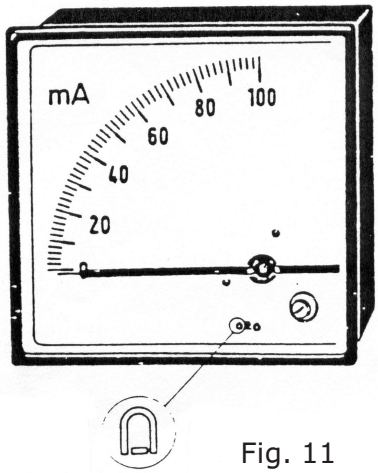


Fig. 11

Os medidores de corrente CC têm polaridade definida para ligação (com os voltímetros de CC). Os bornes na parte posterior do instrumento são identificados pelos sinais de + (mais) e - (menos). (Fig. 12)

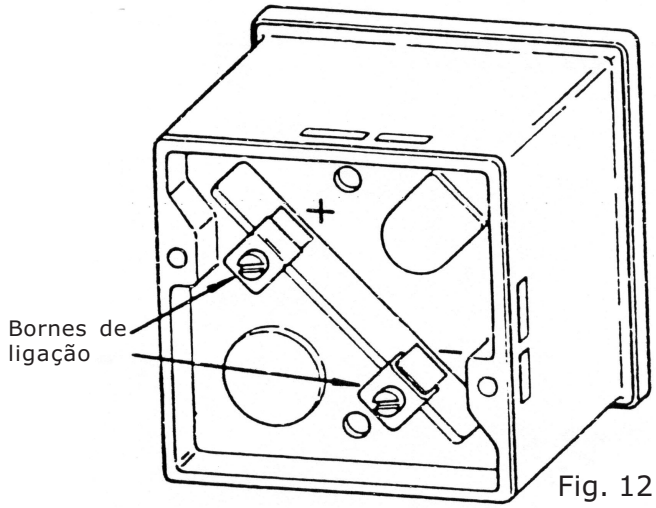


Fig. 12

Conexão do medidor

Os instrumentos de medição da intensidade da corrente elétrica devem ser conectados de forma que a corrente circule através do medidor.

Para que isso ocorra, o circuito deve ser interrompido e o instrumento deve ser colocado nos pontos de interrupção.

A figura 13 ilustra o procedimento para medição de corrente em um circuito.

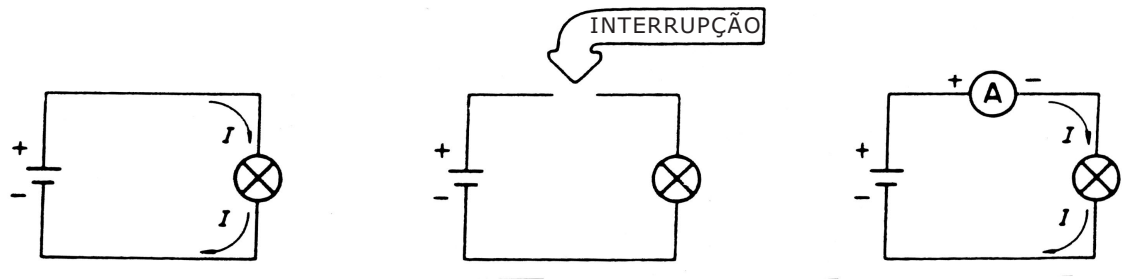


Fig. 13

Observando o circuito, verifica-se que na medição de intensidade de corrente o medidor fica em série com os consumidores do circuito.

Nos circuitos simples, compostos por uma fonte geradora e um consumidor, o instrumento pode ser colocado em qualquer posição do circuito. (Fig. 14)

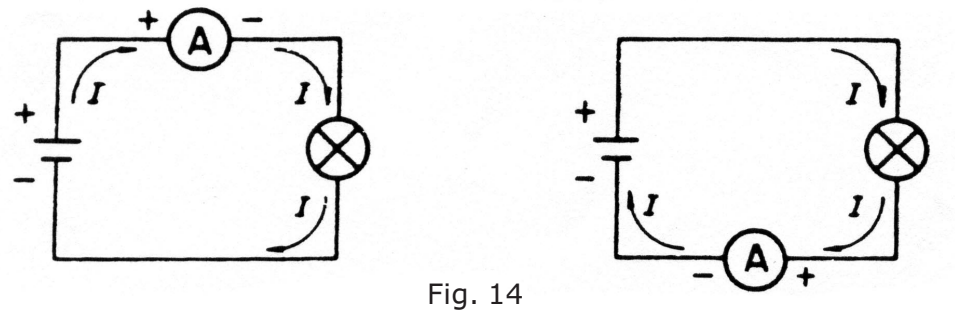


Fig. 14

Os amperímetros dos circuitos da figura fornecem a mesma indicação, porque a corrente que circula após a lâmpada é a mesma que circula antes dela.

Para realizar a conexão do instrumento no circuito, a fonte de alimentação deve ser desligada e a polaridade de ligação deve ser observada cuidadosamente. O instrumento deve ser conectado de forma que a corrente entre através do borne positivo (pelo sentido convencional da corrente elétrica). (Fig. 15)

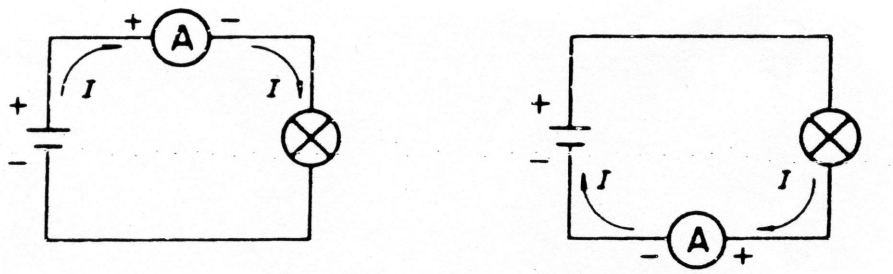


Fig. 15

Potência elétrica em corrente contínua

A passagem da corrente elétrica através de uma carga instalada em um circuito elétrico produz efeitos tais como calor, luz, movimento. (Figs. 16, 17 e 18)

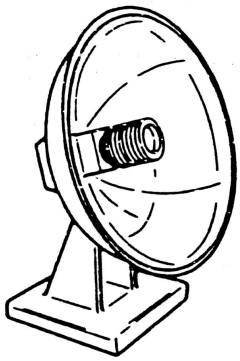


Fig. 16

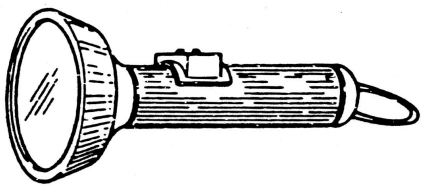


Fig. 17

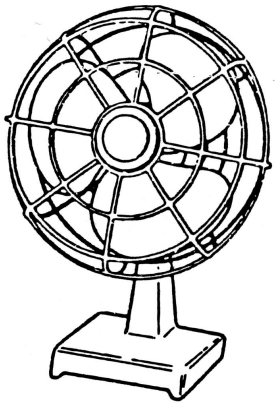


Fig.18

O calor, luz, movimento produzido pelo consumidor a partir da energia elétrica é denominado de "trabalho". A capacidade de cada consumidor de produzir trabalho em um determinado tempo a partir da energia elétrica é denominada de *potência elétrica*.

O conhecimento da potência elétrica de cada componente em um circuito é muito importante para que se possa dimensioná-lo corretamente.

Trabalho elétrico

Os circuitos elétricos são montados com objetivo de realizar um aproveitamento da energia elétrica.

Entre os efeitos que se pode obter a partir da energia elétrica citam-se:

1 – Efeito calorífico — que ocorre quando a energia elétrica é convertida em calor — caso dos fogões, chuveiros e aquecedores elétricos. (Fig. 19)

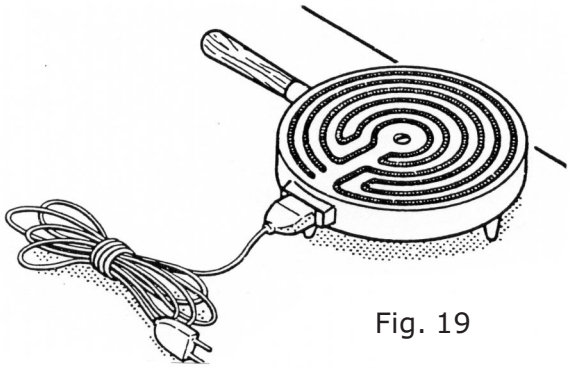


Fig. 19

2 – Efeito luminoso — observado quando a energia elétrica é convertida em luz — caso das lâmpadas. (Uma parcela dessa energia é convertida em calor.) (Fig. 20)

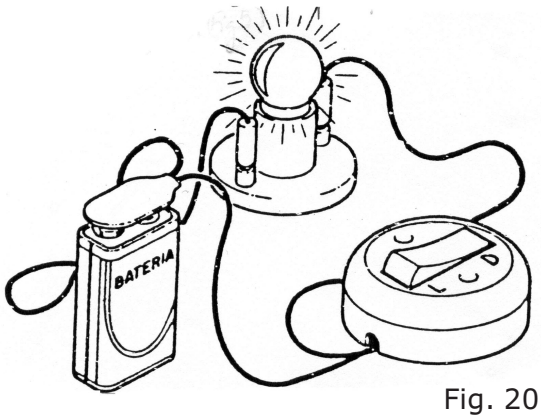


Fig. 20

3 – Efeito mecânico — notado sempre que a energia elétrica se converte em força motriz (movimento) — caso dos motores, por exemplo. (Fig. 21)

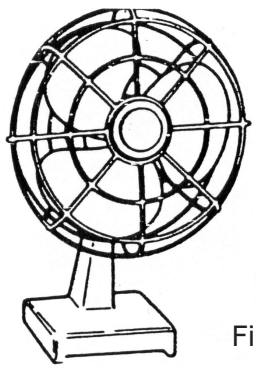


Fig. 21

Este trabalho de transformação da energia elétrica em outra forma de energia é realizado pelo consumidor ou carga.

Ao transformar a energia elétrica, o consumidor realiza um "trabalho elétrico".

Potência elétrica

Analisando particularmente um tipo de carga, como por exemplo, as lâmpadas, verifica-se que nem todas produzem a mesma quantidade de luz.

Existem lâmpadas que produzem grandes quantidades de luz e outras que produzem pequenas quantidades. (Fig. 22)

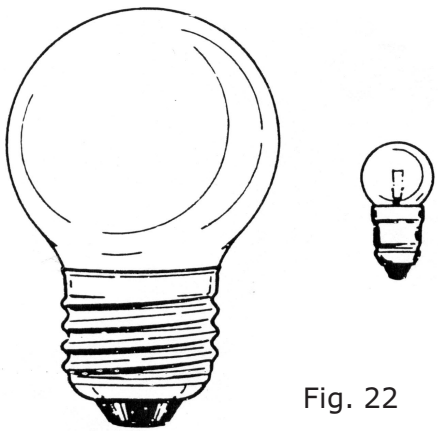


Fig. 22

Da mesma forma, existem aquecedores capazes de ferver um litro de água em dez minutos e outros que podem fazê-lo em cinco.

Tanto um aquecedor como outro realizam o mesmo trabalho elétrico: aquecer um litro de água até a temperatura de 100ºC.

Entretanto, um deles é mais rápido, realizando o trabalho em menor tempo. A partir desta constatação, conclui-se que os dois aquecedores não são iguais.

Existe uma grandeza elétrica através da qual se relaciona o trabalho elétrico realizado e o tempo necessário para sua realização. Esta grandeza é denominada de *potência elétrica*. Assim, pode-se dizer:

Potência elétrica é a capacidade de realizar um trabalho na unidade de tempo, a partir da energia elétrica.

Considerando esse conceito pode-se afirmar:

— lâmpadas que produzem diferentes quantidades de luz têm potências diferentes.
— aquecedores que levam tempos diferentes para ferver uma mesma quantidade de água têm potências diferentes.

O mesmo acontece em relação a outros tipos de consumidores tais como motores, aquecedores, etc...

Existem motores de grande potência (elevadores) e de pequena potência (gravadores).

Unidade de medida

A potência elétrica é uma grandeza e como tal pode ser medida. A unidade de medida de potência elétrica é o *watt*, representado pelo símbolo W.

1 watt é o trabalho realizado em um segundo por um consumidor alimentado por uma tensão de 1 volt no qual circula uma corrente de 1 ampère. (Fig. 23)

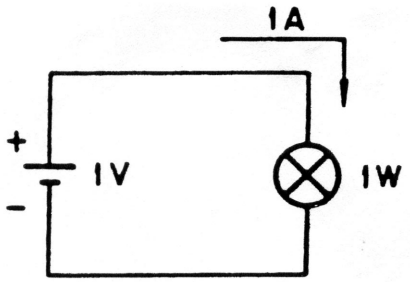


Fig. 23

A unidade de medida da potência elétrica – watt – tem múltiplos e submúltiplos, apresentados na tabela abaixo.

DENOMINAÇÃO		SÍMBOLO	Valor com relação ao watt
Múltiplo	quilowatt	kW	10^3W ou 1000W
Unidade	watt	W	1W
Submúltiplos	miliwatt	mW	10^{-3}W ou 0,001W
	microwatt	µW	10^{-6}W ou 0,000001W

APLICAÇÃO

Exemplos de conversão

Para conversão de valores usa-se o mesmo sistema de outras unidades.

kW			W			mW			µW

1,3 W = 1300 mW 350 W = 0,35 kW

640 mW = 0,64 W 2,1 kW = 2100 W

0,007 W = 7 mW 12 mW = 12000 µW

Determinação da potência de um consumidor em CC

A potência elétrica de um consumidor, representada pela letra P, depende da tensão aplicada e da corrente que circula em seus terminais.

Matematicamente, a potência de um consumidor é dada por

$$P = V \cdot I,$$

onde V = tensão entre os terminais do consumidor

I = corrente circulante no consumidor

APLICAÇÃO

Uma lâmpada de lanterna de 6V solicita uma corrente de 0,5 A das pilhas. Qual a potência da lâmpada?

Dados: V = 6V ⇦ tensão nos terminais da lâmpada

I = 0,5 A ⇦ corrente através da lâmpada

P = ?

P = V x I P = 6V x 0,5 A = 3W P = 3W

De forma semelhante à equação da Lei de Ohm, a equação da potência pode ser colocada em um triângulo. (Fig. 24)

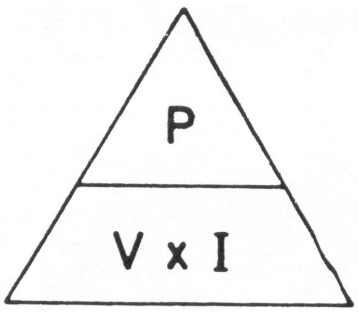


Fig. 24

Assim se obtêm facilmente as equações de corrente para o cálculo de qualquer das três grandezas da equação:

$P = V \times I$ ⇦ Cálculo da potência quando se dispõe da tensão e da corrente.

$I = P / V$ ⇦ Cálculo da corrente quando se dispõe da potência e da tensão.

$V = P / I$ ⇦ Cálculo da tensão quando se dispõe da potência e da corrente.

As equações devem ser usadas com os valores nas unidades padrão de medida (V, A, W).

Em muitas ocasiões se faz necessário calcular a potência de um componente e não se dispõe da tensão e da corrente. Nesse caso, não é possível calcular a potência pela equação $P = V \cdot I$.

Esta dificuldade pode ser solucionada com auxílio da Lei de Ohm. Colocam-se lado a lado os dois triângulos. (Fig. 25)

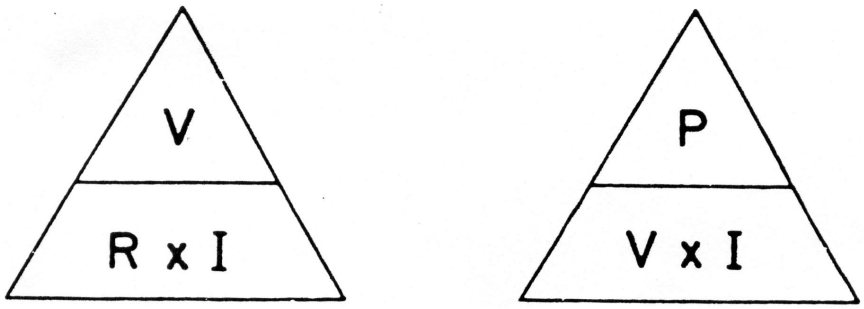


Fig. 25

Através dos dados fornecidos pelo problema (I e R) e da Lei de Ohm se obtém o valor da tensão.

$$V = R \times I$$

Substituindo o valor deV na equação da potência tem-se:

$P = V \cdot I \Rightarrow P = (I \cdot R) \cdot I$

tensão (V) segundo a Lei de Ohm.

Eliminando os parênteses:

$P = I \cdot R \cdot I$ ou $P = I^2 \cdot R$

Essa equação pode ser usada para determinar a potência de um componente, sendo conhecida como *Equação da potência por efeito joule*.

As duas equações devem fornecer o mesmo resultado.

$P = V \cdot I$ ⟷ MESMO RESULTADO ⟷ $P = I^2 \cdot R$

O mesmo tipo de dedução pode ser realizada para obter uma equação que permita determinar a potência a partir da tensão e da resistência. (Fig. 26)

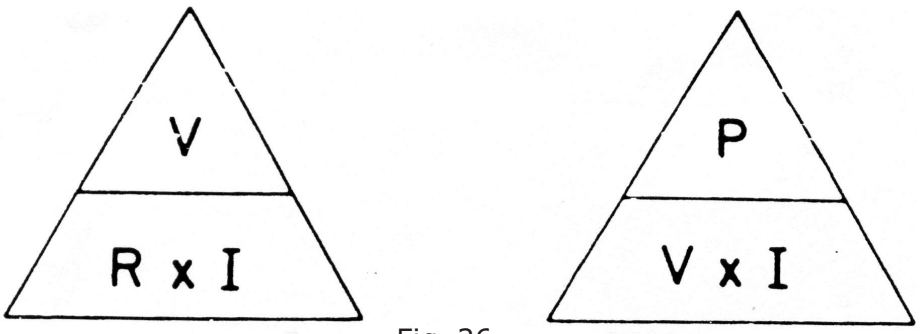


Fig. 26

Pela lei de Ohm, sabe-se que a corrente é calculada pela fórmula

$$I = V/R$$

Substituindo o valor de I na equação da potência

$$P = V \cdot I \Longrightarrow P = V \cdot \frac{V}{R}$$

Eliminando os parênteses, chega-se a

$P = V \cdot \frac{V}{R}$ ou $\boxed{P = \frac{V^2}{R}}$

As equações para determinação da potência podem ser colocadas nos triângulos para facilitar as suas utilizações. (Figs. 27, 28 e 29)

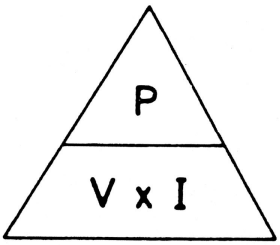


Fig. 27

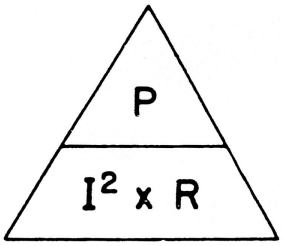


Fig. 28

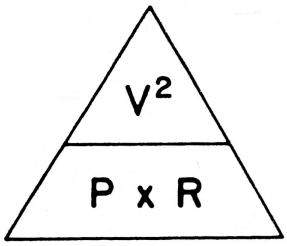


Fig. 29

APLICAÇÃO

a) Um aquecedor elétrico tem uma resistência de 8 Ω e solicita uma corrente de 10 A. Qual é a sua potência?

Dados: I = 10 A
R = 8 Ω
P = ?

FÓRMULA: $P = I^2 \cdot R$

$P = 10^2 \cdot 8$

$P = 800\,W$

b) Um isqueiro de automóvel funciona com 12 Vcc fornecidos pela bateria. Sabendo que a resistência do isqueiro é de 3 Ω, calcular a potência dissipada.

Dados: V = 12 Vcc
R = 3 Ω
P = ?

FÓRMULA: $P = \frac{V^2}{R}$

$P = \frac{12^2}{3}$

$P = 48\,W$

Potência nominal

Alguns aparelhos elétricos tais como chuveiros, lâmpadas e motores apresentam uma característica particular: têm uma tensão estabelecida para o funcionamento. Assim, existem chuveiros para 110V ou 220V, lâmpadas para 6V, 12V, 110V, 220V, 380V, 760V e outras.

Esta tensão para a qual estes "consumidores" são fabricados é chamada de *tensão nominal de funcionamento*.

Os consumidores que apresentam esta característica devem sempre ser ligados na tensão correta (nominal), que normalmente está especificada no seu corpo. (Fig. 30)

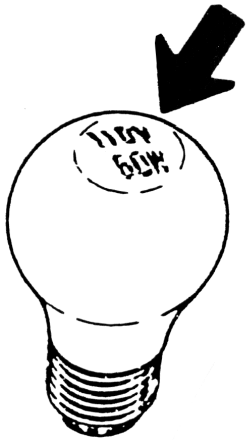


Fig. 30

Quando estes aparelhos são ligados corretamente, a quantidade de calor, luz ou movimento produzida é exatamente aquela para a qual foram projetados.

Por exemplo, uma lâmpada de 110V-60W ligada corretamente (em 110 V) produz 60 W entre luz e calor. Diz-se, neste caso, que a lâmpada está "dissipando a sua potência nominal".

Portanto, *potência nominal*, é a potência para qual um consumidor foi projetado. Enquanto uma lâmpada, aquecedor ou motor trabalha "dissipando a sua potência nominal", está na sua condição ideal de funcionamento.

Limite de dissipação de potência

Existe um grande número de componentes eletrônicos que se caracteriza por não ter uma tensão nominal de funcionamento especificado. Estes componentes podem funcionar com os mais diversos valores de tensão.

Os resistores são um exemplo típico deste tipo de componentes. Não trazem nenhuma referência quanto à tensão nominal de funcionamento.

Entretanto, todo resistor que é ligado a uma fonte geradora dissipa uma determinada potência, que pode ser calculada.

Tome-se como exemplo o circuito apresentado na figura 31.

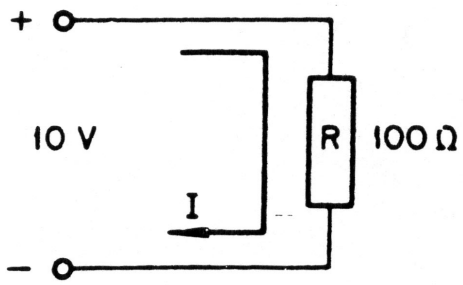


Fig. 31

A potência dissipada é $P = V \cdot I$

$$P = 10\,V \times 0{,}1\,A = 1\,W$$

Como o resistor não produz luz ou movimento, esta potência é dissipada em forma de calor, de forma que o componente aquece.

NOTA

Os resistores dissipam potência elétrica em forma de calor.

É necessário garantir que a quantidade de calor produzida pelo resistor não seja demasiada, provocando um aquecimento tão grande que possa destruir esse componente.

ATENÇÃO

maior potência dissipada ⇒ *maior aquecimento*

menor potência dissipada ⇒ *menor aquecimento*

Desta forma, conclui-se que, se a dissipação de potência for limitada, a produção de calor também será.

Por esta razão, os resistores têm uma característica denominada de *limite de dissipação*, que estabelece o valor máximo de potência que o resistor pode dissipar sem sofrer danos.

Os resistores são fabricados em diversos valores de *limite de dissipação*. Entre os valores mais comuns de limites de dissipação encontram-se:

1/8W (0,125W); 1/4W (0,25W); 1/2 W (0,5W); 1W; 2W; 5W; 10W e outros.

NOTA

Deve-se sempre ter em mente que estes valores representam o limite máximo de dissipação.

Considerando-se, por exemplo, um resistor de 1 W: a potência máxima que o resistor pode dissipar é 1 W.

ATENÇÃO

Por medida de segurança à preservação do componente, deve-se manter a potência dissipada no componente ABAIXO de 50% do valor limite. Isto deve permitir que o componente trabalhe morno. Se for necessário que o componente trabalhe frio, usa-se no máximo 30% de potência nominal.

Ex.: Resistor de 470 Ω

Dissipando 1 W — trabalha no limite de dissipação e quente.

Dissipando 0,5 W — trabalha morno.

Dissipando até 0,3 W — trabalha frio.

Os resistores para diferentes limites de dissipação têm tamanhos diferentes. (Figs. 32 e 33)

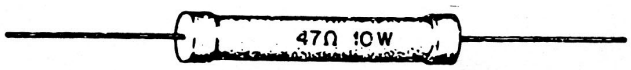


Fig. 32

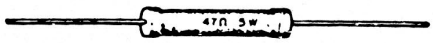


Fig. 33

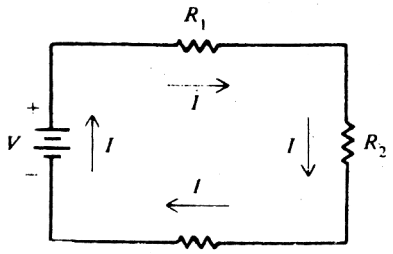
Sempre que for necessário solicitar ou comprar um resistor, é necessário fornecer a especificação completa.

Ex.: Resistor de 820 Ω 10% 1/2 W

Circuitos série de corrente contínua

Tensão, corrente e resistência em circuitos série

Um circuito série é aquele que permite somente um percurso para a passagem da corrente. Nos circuitos em série (Fig. 34), a corrente I é a mesma em todos os pontos do circuito. Isto quer dizer que a corrente que passa por R1 é a mesma que passa por R2, por R3, e é exatamente aquela fornecida pela bateria.



Um circuito série

Fig. 34

Quando as resistências são ligadas em série (Fig. 34), a resistência total do circuito é igual à soma das resistências de todas as partes do circuito, ou

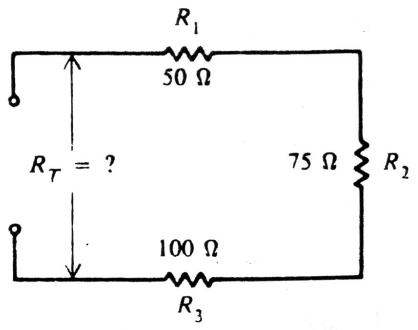
$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 \qquad (a)$$

onde R_T = resistência total, Ω

R_1, R_2, e R_3 = resistências em série, Ω

APLICAÇÃO

Um circuito série é formado por resistores de 50 Ω, 75 Ω e 100Ω conforme a figura ao lado. Calcule a resistência total do circuito.



Utilize a equação (a) e some os valores dos três resistores em série.

$R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 50 + 75 + 100 = 225\,\Omega$ Resp.: 225 Ω

A tensão total através de um circuito série é igual à soma das tensões nos terminais de cada resistência do circuito (Fig. 35) ou

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 \qquad (b)$$

onde V_T = tensão total, V
V_1 = tensão nos terminais da resistência R_1, V
V_2 = tensão nos terminais da resistência R_2, V
V_3 = tensão nos terminais da resistência R_3, V

Embora as equações (a) e (b) tenham sido aplicadas a circuitos que contêm três resistências, elas também se aplicam a qualquer número *n* de resistências, isto é,

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n \quad (a_1)$$
$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots + V_n \quad (b_1)$$

A Lei de Ohm pode ser aplicada ao circuito todo ou a partes separadas de um circuito em série. Quando ela for aplicada a uma certa parte do circuito, a tensão através dessa parte é igual à corrente dessa parte multiplicada pela sua resistência. Para o circuito que aparece na Fig. 35,

$V_1 = IR_1$
$V_2 = IR_2$
$V_3 = IR_3$

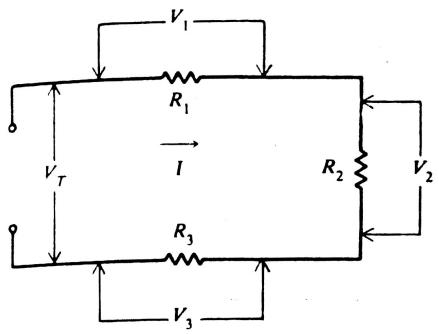


Fig. 35

APLICAÇÃO

Exercício 1 – Num circuito série obtêm-se 6V nos terminais de R_1, 30V nos terminais de R_2 e 54V nos terminais de R_3, conforme a figura abaixo. Qual a tensão total através do circuito?

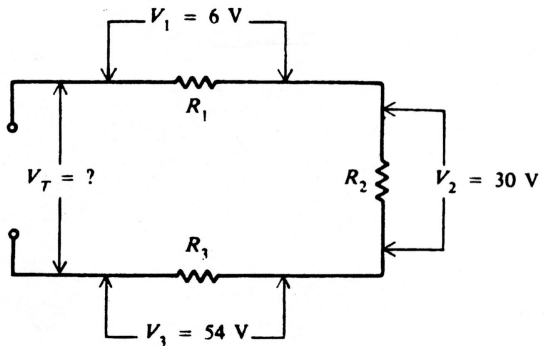
Escreva a equação (b) e some as tensões nos terminais de cada uma das resistências.

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 = 6 + 30 + 54 = 90\,V \qquad \text{Resp.: } 90\,V$$

Para se calcular a tensão total através de um circuito série, multiplica-se a corrente pela resistência total, ou

$$V_T = IR_T \qquad (c)$$

onde V_T = tensão total, V
I = corrente, A
R_T = resistência total, Ω



Lembre-se de que num circuito série passa a mesma corrente em qualquer parte do circuito. Não some as correntes em cada parte do circuito para obter I na equação (c).

Exercício 2 – Um resistor de 45 Ω e uma campainha de 60 Ω estão ligados em série, conforme a figura abaixo. Qual a tensão necessária através dessa associação para produzir uma corrente de 0,3 A?

1º passo: Calcule a corrente I. O valor da corrente é o mesmo em cada parte de um circuito em série.

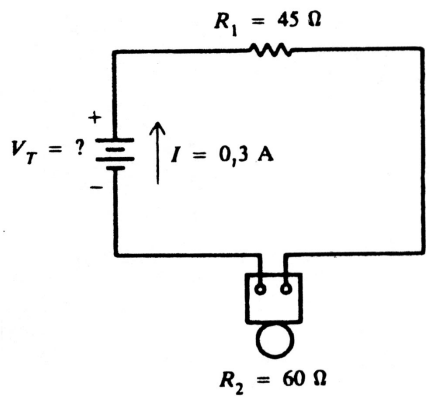
$$I = 0{,}3\ A \quad \text{(dado)}$$

2º passo: Calcule a resistência total R_T. Some as duas resistências.

$$R_T = R_1 + R_2$$
$$R_T = 45 + 60 = 105\ \Omega$$

3º passo: Calcule a tensão total V_T. Utilize a Lei de Ohm.

$$V_T = IR_T$$
$$V_T = 0{,}3(105) = 31{,}5\ V$$



Exercício 3 – Uma bateria de 9V está ligada em série conforme o esquema abaixo. Calcule a tensão nos terminais de cada resistor.

1º passo: Calcule a resistência total R_T,

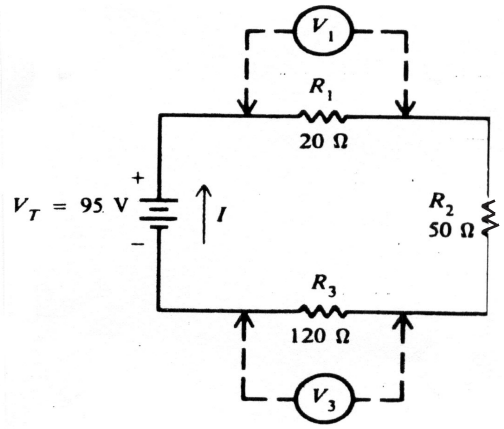
$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$
$$R_T = 20 + 50 + 120 = 190\,\Omega$$

2º passo: Calcule a corrente I. Pela Lei de Ohm,

$$V_T = IR_T$$

de onde se obtém

$$I = \frac{V_T}{R_T} = \frac{95}{190} = 0{,}5\ A$$



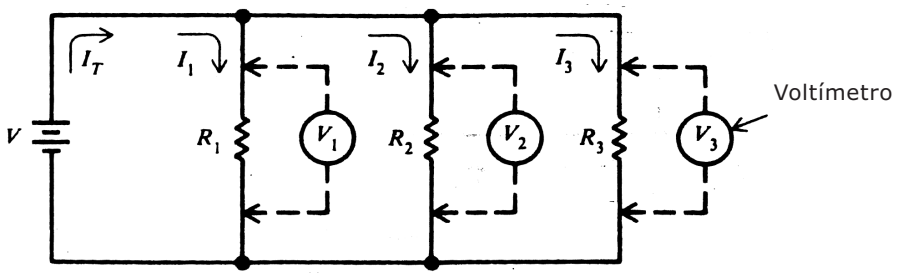
Circuitos paralelo de corrente contínua

Tensão e corrente em um circuito paralelo

Um circuito paralelo é aquele no qual dois ou mais componentes estão ligados à mesma fonte de tensão (Fig. 36). Os resistores R_1, R_2 e R_3 estão em paralelo entre si e com a bateria. Cada percurso paralelo é então um ramo ou malha com a sua própria corrente. Quando a corrente total I_T sai da fonte de tensão V, uma parte I_1 da corrente I_T flui através de R_1, uma outra parte I_2 flui através de R_2, e a parte restante I_3 passa através de R_3. As correntes I_1, I_2 e I_3 nos ramos podem

ser diferentes. Entretanto, se for inserido um voltímetro (um instrumento que serve para medir a tensão de um circuito) através de R_1, R_2 e R_3, as respectivas tensões V_1, V_2 e V_3 serão iguais. Portanto,

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad (d)$$



Um circuito paralelo

Fig. 36

A corrente total I_T é igual à soma das correntes em todos os ramos.

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 \quad (e)$$

Esta fórmula aplica-se a qualquer número de ramos em paralelo, sejam as resistências iguais ou não.

Pela Lei de Ohm, cada corrente de ramo é igual à tensão aplicada dividida pela resistência entre os dois pontos onde a tensão é aplicada. Assim sendo, considerada a Fig. 36, para cada ramo temos as seguintes equações:

Ramo 1: $$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{V}{R_1}$$

Ramo 2: $$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{V}{R_2} \quad (f)$$

Ramo 3: $$I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{V}{R_3}$$

Com a mesma tensão aplicada, um ramo que possua menor resistência permite a passagem de uma corrente maior através dele mesmo do que um ramo com uma resistência mais alta.

APLICAÇÃO

Exercício 1 – Duas lâmpadas que retiram do circuito 2 A mais uma terceira lâmpada que retira 1 A estão ligadas em paralelo através de uma linha de 110V. Qual a corrente total?

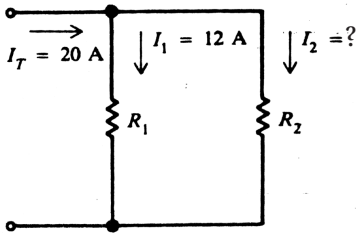
A fórmula para a corrente total é

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$
$$I_T = 2 + 2 + 1 = 5\,A$$ Resp.: A corrente total é de 5 A.

Exercício 2 – Dois ramos R_1 e R_2 ligados a uma linha de tensão de 110V consomem do circuito uma corrente total de 20 A. O ramo R_1 retira 12 A do circuito. Qual a corrente I_2 no ramo R_2?

Partindo da equação (e), transponha os membros para isolar I_2 e então substitua os valores dados.

$$I_t = I_1 + I_2$$
$$I_2 = I_T - I_1$$
$$I_2 = 20 - 12 = 8\,A$$



Resp.: A corrente no ramo R_2 é de 8 A.

Exercício 3 – Um circuito paralelo é formado por uma cafeteira elétrica, uma torradeira, e uma panela de frituras ligadas às tomadas de 120 V de uma cozinha. (Figs. A e B ao lado) Que corrente fluirá em cada ramo do circuito e qual é a corrente total consumida por todos os eletrodomésticos mencionados?

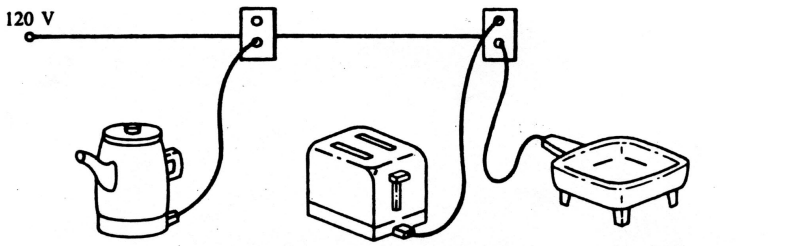


Fig. A

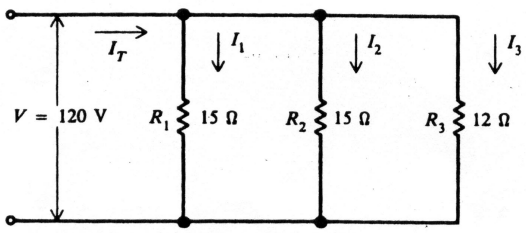


Fig. B

Inicialmente, desenhe o circuito conforme o diagrama da Fig. B. Mostre a resistência de cada aparelho. Há um potencial de 120V através de cada aparelho considerado. A seguir, utilizando a equação (f), aplique a Lei de Ohm a cada aparelho ligado.

Cafeteira elétrica : $I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{120}{15} = 8\,A$

Torradeira: $I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{120}{15} = 8\,A$

Panela de frituras: $I_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{120}{12} = 10\,A$

Determine agora a corrente total, através da equação (e)

$I_T = I_1 + I_2 + I_3$

$I_T = 8 + 8 + 10 = 26\,A$

Resp.: $I_1 = 8\,A$, $I_2 = 8\,A$, $I_3 = 10\,A$, $I_T = 26\,A$

Com essa carga de 26 A, um disjuntor ou um fusível de 20 A abrirá o circuito. Este exemplo mostra a necessidade de se dispor de dois circuitos de 20 A destinados aos eletrodomésticos numa cozinha.

Resistências em paralelo

Resistência total

A resistência total num circuito paralelo pode ser determinada aplicando-se a Lei de Ohm: divida a tensão comum através das resistências em paralelo pela corrente total da linha.

$$R_T = \frac{V}{I_T} \qquad (g)$$

R_T é a resistência total de todos os ramos em paralelo através da fonte de tensão V; I_T é a soma da corrente de todos os ramos.

Fórmula geral inversa

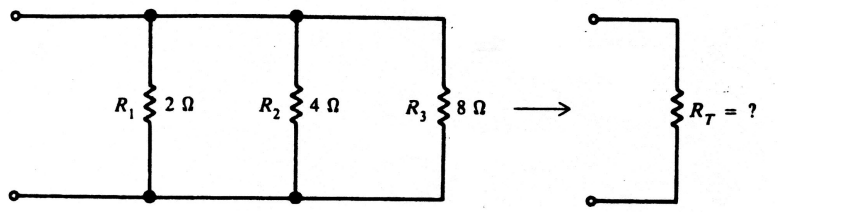
A resistência total em paralelo é dada pela fórmula:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n} \qquad \text{(h)}$$

onde R_T é a resistência total em paralelo e R_1, R_2, R_3 e R_n são as resistências nos ramos.

APLICAÇÃO

Exercício 4 – Calcule a resistência dos resistores de 2Ω, 4Ω e de 8Ω associados em paralelo.



(a) Circuito com ramos em paralelo (b) Circuito equivalente

Escreva a fórmula para as três resistências em paralelo.

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \qquad \text{(h)}$$

Substitua os valores das resistências

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8}$$

some as frações,

$$\frac{1}{R_T} = \frac{4}{8} + \frac{2}{8} + \frac{1}{8} = \frac{7}{8}$$

inverta os dois lados da equação para obter o valor de R_T

$$R_T = \frac{8}{7} = 1{,}14\,\Omega \qquad \text{Resp.: } R = 1{,}14\,\Omega$$

ATENÇÃO

Quando as resistências estão ligadas em paralelo, a resistência total é sempre menor do que a resistência de qualquer ramo isoladamente.

Neste último exercício resolvido, $R_T = 1{,}14\ \Omega$ é menor do que $R_1 = 2\ \Omega$, $R_2 = 4\,\Omega$ e $R_3 = 8\,\Omega$.

Exercício 5 – Acrescente um quarto resistor de 2 Ω em paralelo ao circuito da figura (a) do exercício 4. Qual a nova resistência total e qual o efeito de se acrescentar uma outra resistência em paralelo?

Escreva a fórmula para as quatro resistências em paralelo:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \qquad \text{(h)}$$

Substitua os valores,

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{2}$$

some as frações,

$$\frac{1}{R_T} = \frac{4}{8} + \frac{2}{8} + \frac{1}{8} + \frac{4}{8} = \frac{11}{8}$$

inverta,

$$R_T = \frac{8}{11} = 0{,}73\,\Omega \qquad \text{Resp.: } R_T = 0{,}73\,\Omega$$

Dessa forma, vemos que o efeito de se acrescentar uma outra resistência em paralelo é uma redução da resistência total de 1,14 Ω para 0,73 Ω.

Fórmulas simplificadas

A resistência total de resistores *iguais* associados em paralelo é igual à resistência de um resistor dividida pelo número de resistores.

$$R_T = \frac{R}{N} \qquad \text{(i)}$$

onde R_T = resistência total de resistores iguais em paralelo, Ω
R = resistência de um dos resistores iguais, Ω
N = número de resistores iguais

APLICAÇÃO

Exercício 6 – Quatro lâmpadas, cada uma delas com uma resistência de 60 Ω, estão ligadas em paralelo. Calcule a resistência total.

Dados: $R = R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 60\,\Omega$
$N = 4$

Escreva a equação (i) e substitua os valores.

$$R_T = \frac{R}{N} = \frac{60}{4} = 15\,\Omega \qquad \text{Resp.: } R_T = 15\,\Omega$$

Quando qualquer dos resistores diferentes estiverem em paralelo, é mais fácil calcular a resistência total multiplicando as duas resistências, e então dividindo o produto pela soma delas.

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \qquad \text{(j)}$$

onde R_T é a resistência total em paralelo e R_1 e R_2 são os dois resistores em paralelo.

APLICAÇÃO

Exercício 7 – Calcule a resistência total de um resistor de 6 Ω associado a um outro de 18 Ω em paralelo.

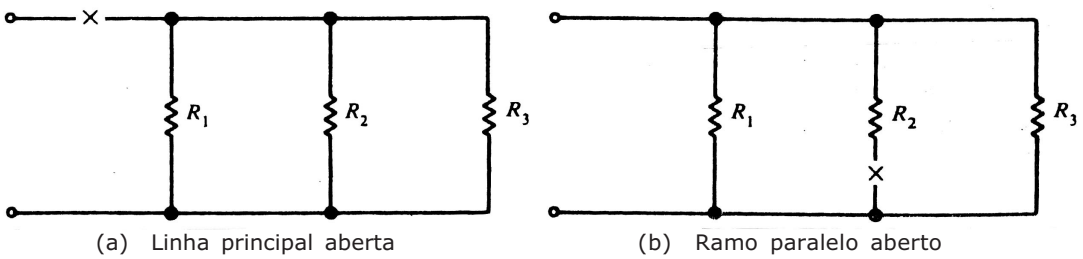
São dados $R_1 = 6\,\Omega$, $R_2 = 18\,\Omega$.

Escreva a equação (j) e substitua os valores.

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{6(18)}{6 + 18} = \frac{108}{24} = 4{,}5\,\Omega \qquad \text{Resp.: } R_T = 4{,}5\,\Omega$$

Circuito aberto e curto-circuito

Um "aberto" em qualquer parte de um circuito é, na verdade, uma resistência extremamente alta que implica ausência de fluxo de corrente através do circuito. Quando houver uma interrupção na linha principal (o "X" na figura 37-a), a corrente não chegará a nenhum dos ramos em paralelo. Quando houver um "aberto" num dos ramos (ramo 2 na figura 37-b), não haverá corrente apenas nesse ramo. Entretanto, as correntes nos ramos 1 e 3 continuarão a fluir tão logo sejam ligados à fonte de tensão.



(a) Linha principal aberta (b) Ramo paralelo aberto

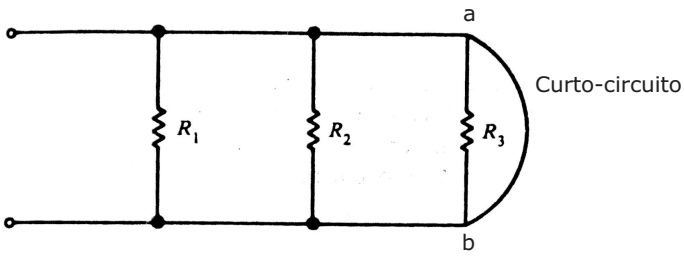
Circuitos paralelo abertos

Fig. 37

Um "curto" em qualquer parte de um circuito é, na verdade, uma resistência extremamente baixa. Como conseqüência, flui uma corrente muito alta pelo curto-circuito.

Suponha que um fio condutor no ponto *a* na Fig. 38 entre em contato acidentalmente com o fio no ponto *b*.

Como o fio é um excelente condutor, o curto-circuito oferece um percurso paralelo com uma resistência praticamente nula do ponto *a* ao ponto *b*. Praticamente toda a corrente irá passar por esse caminho. Como a resistência do curto-circuito é praticamente zero, a queda de tensão através de *ab* será praticamente zero (pela Lei de Ohm). Dessa forma, os resistores R_1, R_2 e R_3 não consumirão a sua corrente normal.

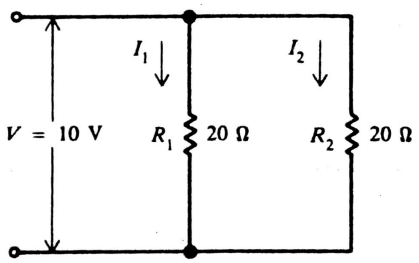


Curto num circuito paralelo

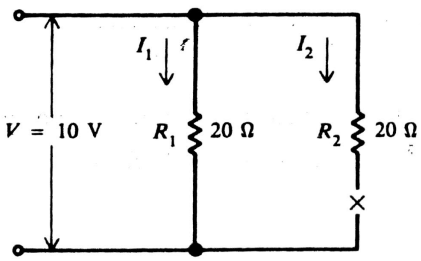
Fig. 38

APLICAÇÃO

Exercício 8 – Calcule a corrente em cada ramo em paralelo (Fig. a). Se o resistor do segundo ramo se queimar, produzindo um circuito aberto (Fig. b), calcule as novas correntes nos ramos.



a) Circuito normal



(b) Circuito aberto

Utilize a equação (f) e substitua os valores.

Com os circuitos normais (Fig.a):

$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{10}{20} = 0{,}5\ A$ Resp.: $I_1 = 0{,}5\ A$

$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{10}{20} = 0{,}5\ A$ Resp.: $I_2 = 0{,}5\ A$

Com o ramo 2 aberto (Fig. b),

$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{10}{20} = 0{,}5\,A$

$I_2 = 0\,A$

Resp.: $I_1 = 0{,}5\,A$
$I_2 = 0\,A$

Divisor de tensão

É um circuito formado por resistores que permite obter, a partir da tensão de alimentação fornecida, qualquer valor de tensão menor, necessário ao funcionamento dos circuitos. (Fig. 39)

O divisor de tensão é muito utilizado nos circuitos eletrônicos para a obtenção da tensão corrente de funcionamento de cada componente, sem que seja necessário usar diversas fontes de alimentação.

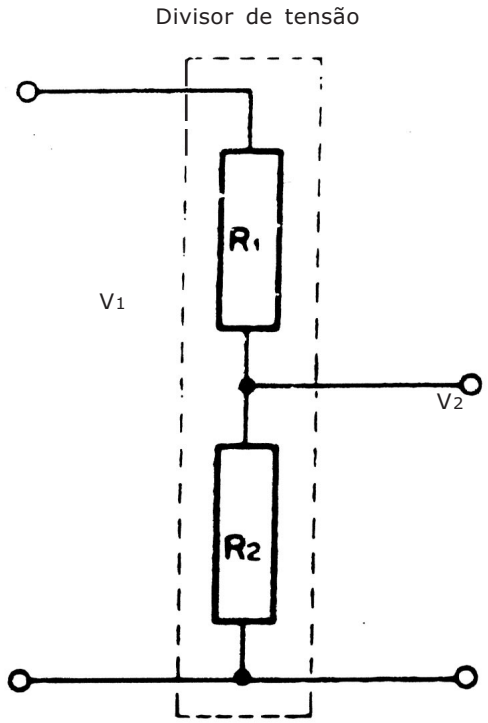


Fig. 39

O circuito série como divisor de tensão

Um circuito série, formado por dois resistores, divide a tensão aplicada na sua entrada em duas partes, isto é, duas quedas de tensão. (Fig. 40)

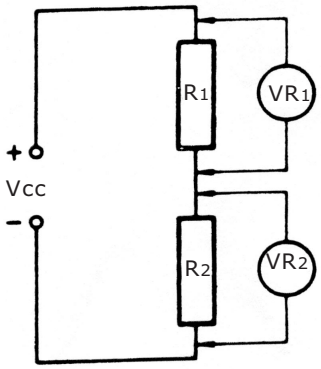


Fig. 40

O circuito série é, portanto, um divisor de tensão. Dimensionando os valores dos resistores pode-se dividir a tensão de entrada na forma que seja necessária. (Fig. 41)

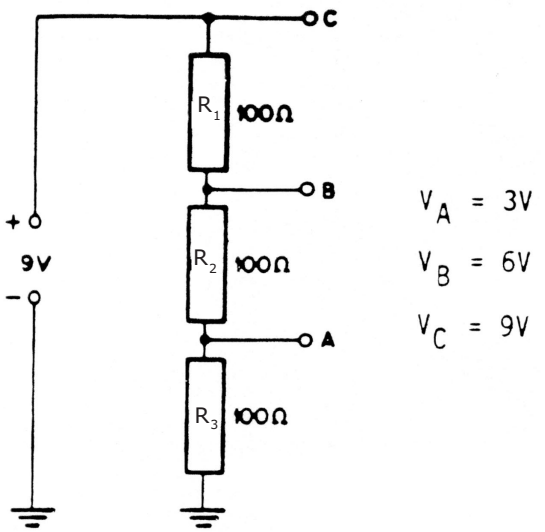


Fig. 41

Divisor de tensão com carga

A divisão da tensão através de um divisor resistivo tem por finalidade fornecer uma parte da tensão de alimentação para um componente ou circuito.

Exemplificando: pode-se utilizar um divisor de tensão para obter 6 V numa lâmpada, a partir de uma fonte de 10V. (Fig. 42)

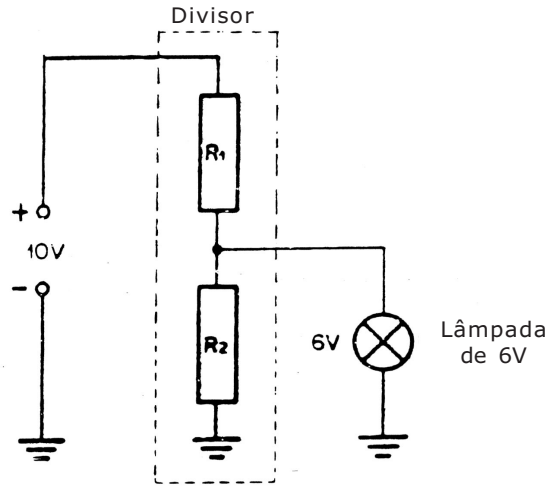


Fig. 42

A tensão fornecida pela fonte ao divisor é denominada de *tensão de entrada*. A tensão fornecida pelo divisor à carga é denominada de *tensão de saída* e o circuito ou componente que é alimentado pelo divisor é denominado de *carga do divisor*. (Fig. 43)

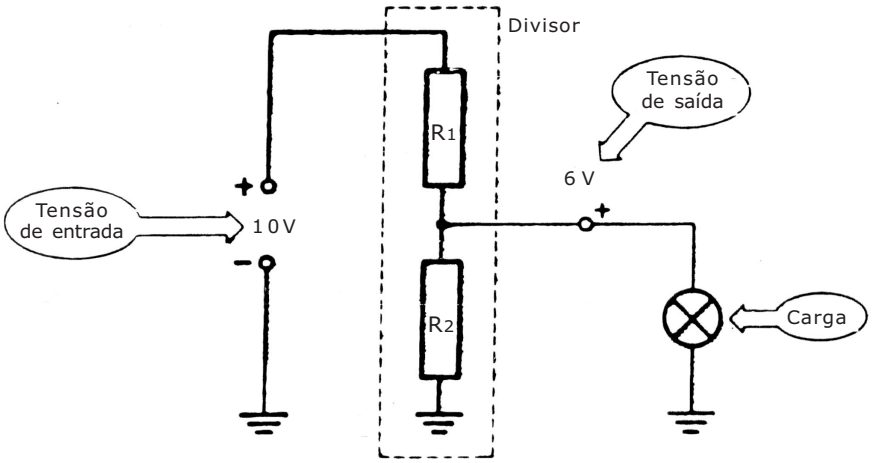


Fig. 43

A carga de um divisor pode ser um componente eletrônico, uma lâmpada ou até mesmo um circuito eletrônico. Por esta razão, quando se calcula ou representa em diagrama um divisor, a carga é representada simplesmente por um bloco, denominado de R_L, independente do que seja realmente. (Fig. 44)

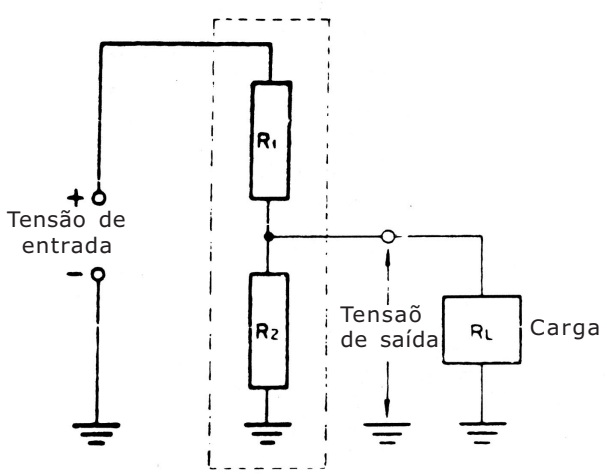
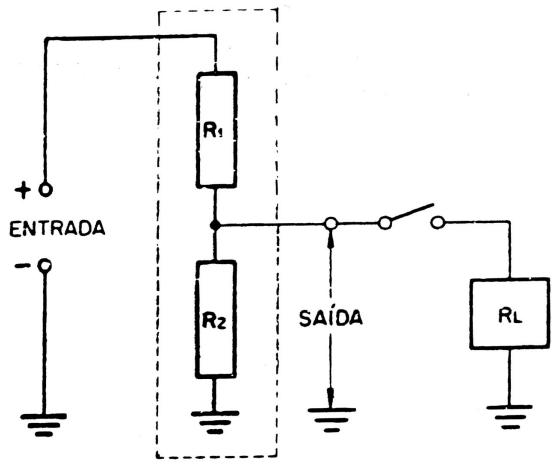


Fig. 44

Influência da carga sobre o divisor

Qualquer carga que seja conectada a um divisor de tensão fica sempre em paralelo com um dos resistores que o compõem. (Fig. 45)



Ao ligar a chave, a carga fica em paralelo com R_2.

Fig. 45

Ao ser conectada ao divisor, a carga altera a resistência total do circuito divisor, fazendo com que as tensões em cada resistor se modifiquem.

Por esta razão, sempre que se calcula um divisor, deve-se determinar as características da carga e considerá-la sempre ligada ao circuito.

Dimensionamento do divisor de tensão

Os dados necessários para dimensionamento dos componentes de um divisor são:

— tensão de entrada

— tensão de carga (ou saída do divisor)

— corrente da carga

Tome-se como exemplo a seguinte situação: necessita-se alimentar uma lâmpada de 6 V – 0,5W a partir de uma fonte que fornece 10 Vcc.

Do enunciado se obtêm diretamente dois dados:

— tensão de entrada ⟶ 10 Vcc

— tensão da carga ⟶ 6 Vcc

A corrente da carga não é fornecida diretamente, mas pode ser determinada através da equação $P = V \cdot I$

$$P_{carga} = 0{,}5\,W \qquad I_{carga} = \frac{P_{carga}}{V_{carga}} = \frac{0{,}5\,W}{6\,V} = 0{,}083\,A$$

⟶ corrente da carga 0,083 A

Uma vez dispondo dos dados essenciais, pode-se elaborar um esquema do divisor de tensão que contenha estes dados.

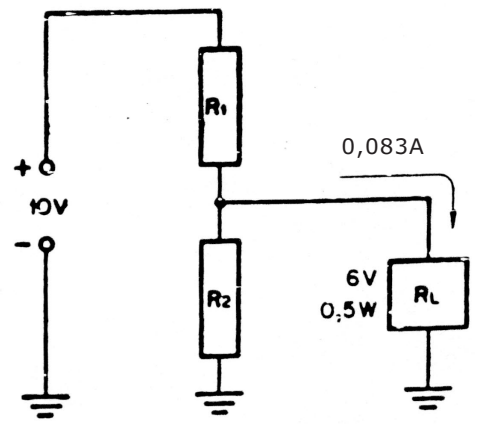


Fig. 46

Circuito de ponte balanceada

A ponte balanceada é um circuito destinado à determinação dos valores de resistência ôhmica desconhecidos, por comparação com valores conhecidos.

O circuito de ponte balanceada utilizado com alimentação em corrente contínua é a base dos equipamentos de precisão para medição de valores de resistência elétrica.

Configuração do circuito

O circuito de ponte balanceada se compõe basicamente de 4 resistores (dos quais um é desconhecido) ligados a uma fonte de corrente contínua

Cada dois resistores formam um ramal que é conectado à tensão em corrente contínua. (Fig. 47)

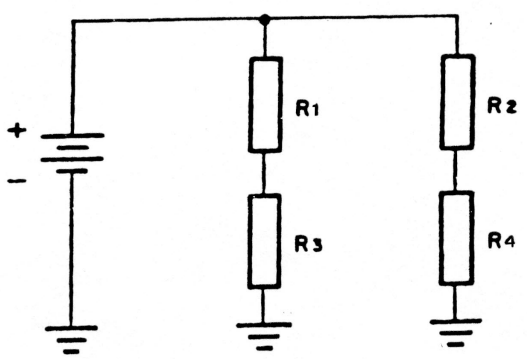


Fig. 47

Entre os pontos centrais de cada braço é colocado um instrumento de medida (normalmente um voltímetro de zero central). (Fig. 48)

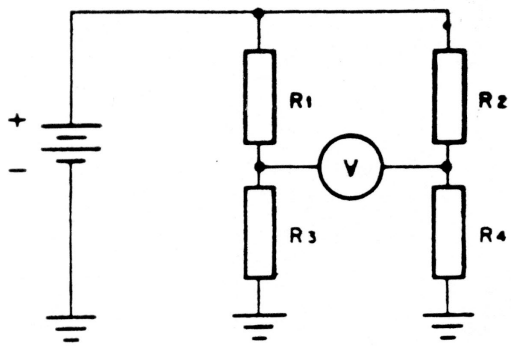


Fig. 48

Princípio de funcionamento

Baseia-se na divisão da tensão de alimentação nos dois ramais.

Supondo que todos os valores de resistência sejam iguais, conforme mostra o circuito da figura 49, verifica-se que no ramal da esquerda, a tensão no ponto A é a metade da tensão de alimentação Vcc. (Fig. 50)

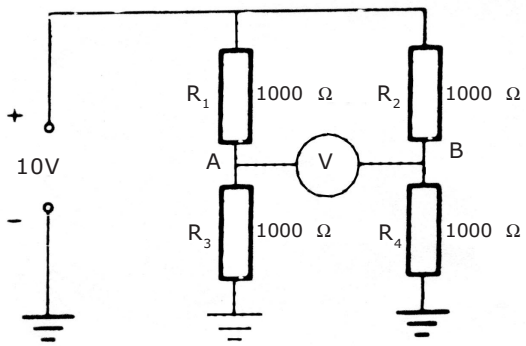


Fig. 49

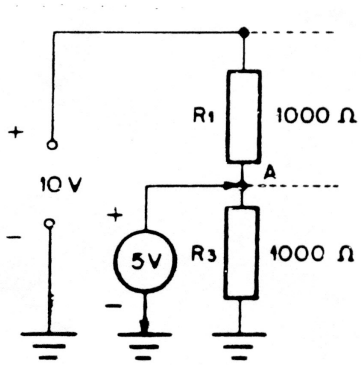


Fig. 50

Da mesma forma, no ramal da direita a tensão no ponto B é também a metade de Vcc. (Fig. 51)

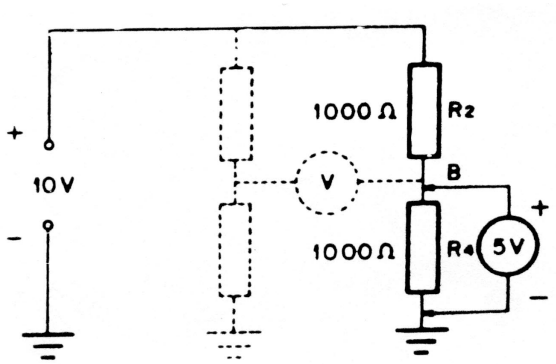


Fig. 51

O voltímetro conectado entre os dois ramais, e cuja finalidade é medir a *diferença de potencial* entre os dois pontos, indica 0 V porque os dois pontos estão a um mesmo potencial elétrico (+ 5V). (Fig. 52)

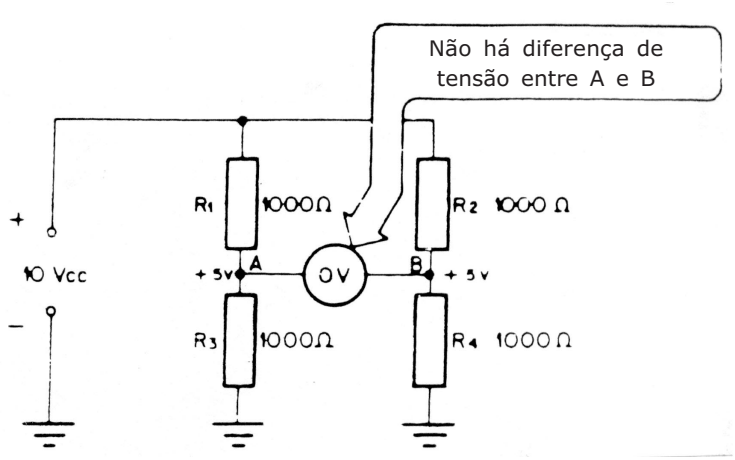


Fig. 52

Tendo em vista que a divisão de tensão em cada ramal depende apenas dos valores de resistência que o compõem, a mesma situação aconteceria nos circuitos mostrados nas figuras 53, 54 e 55 (o voltímetro indicaria zero (0) entre os dois pontos).

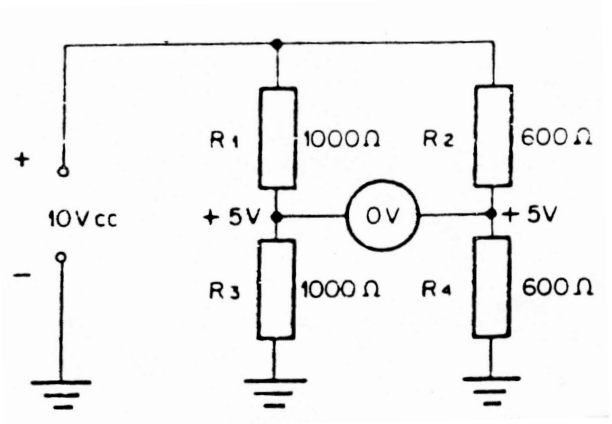


Fig. 53

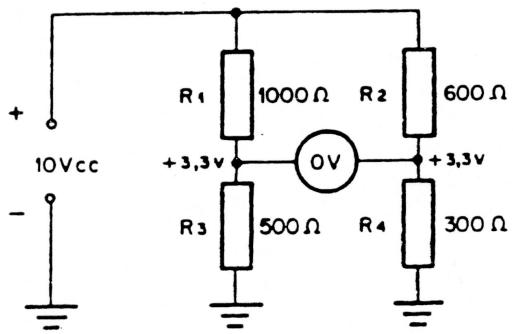


Fig. 54

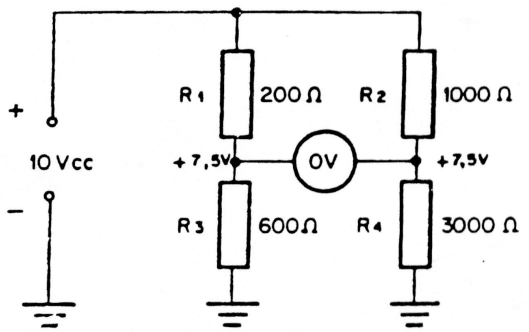


Fig. 55

Através da seqüência de exemplos mostrada nas figuras 53, 54 e 55, conclui-se que o voltímetro indica "zero" toda vez que os valores de R_3 e R_4 tiveram a mesma proporção que os valores de R_1 e R_2, ou seja: o voltímetro indicará 0V se $\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$.

A relação $\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$ é uma proporção de forma. Assim, se os valores de R_1, R_2 e R_3 forem conhecidos, o valor de R_4 pode ser determinado matematicamente:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$$

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$$

$$R_4 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}$$

Se no lugar de R_4 se coloca um resistor desconhecido (Rx), seu valor pode ser encontrado através da equação: $R_x = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}$.

Esta equação pode ser comprovada utilizando, por exemplo, o apresentado na figura 55a, supondo R_4 sem valor conhecido.

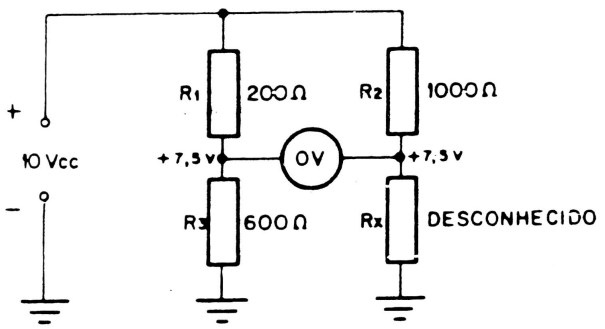


Fig. 55a

Voltímetro indicando "0V"

$$R_x = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1} = \frac{600 \cdot 1000}{200} = 3000\,\Omega$$

$R_x = 3000\,\Omega$, o que confere com o circuito da figura 55.

Através do circuito de ponte balanceada e da escolha correta dos valores dos resistores conhecidos, pode-se determinar o valor *resistivo* de qualquer componente de que se necessite.

Pontes comerciais

O circuito de ponte balanceada apresentado tem a forma mais simples possível. Nos equipamentos comerciais, destinados à medida de precisão de resistências, o princípio é aproveitado através de circuitos mais sofisticados.

A figura 56 apresenta um circuito de medição de resistência mais elaborado, com recursos de medição mais adequados.

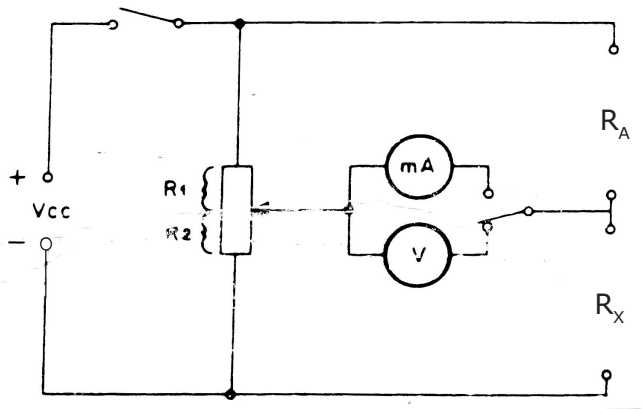


Fig. 56

O circuito é utilizado da seguinte forma: o resistor desconhecido é conectado na posição R_X e na posição R_A utiliza-se um resistor conhecido (de valor tão preciso quanto possível).

O circuito adquire, então, a configuração apresentada na figura 57.

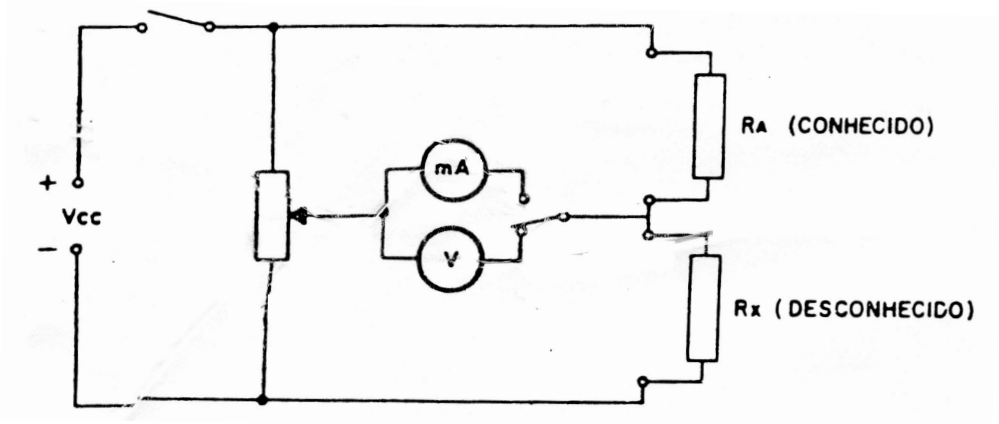


Fig. 57

O cursor do potenciômetro (que fez a função de R_1 e R_2) está acoplado a uma escala no painel do equipamento. (Fig. 58)

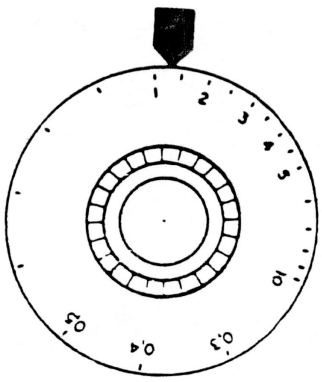
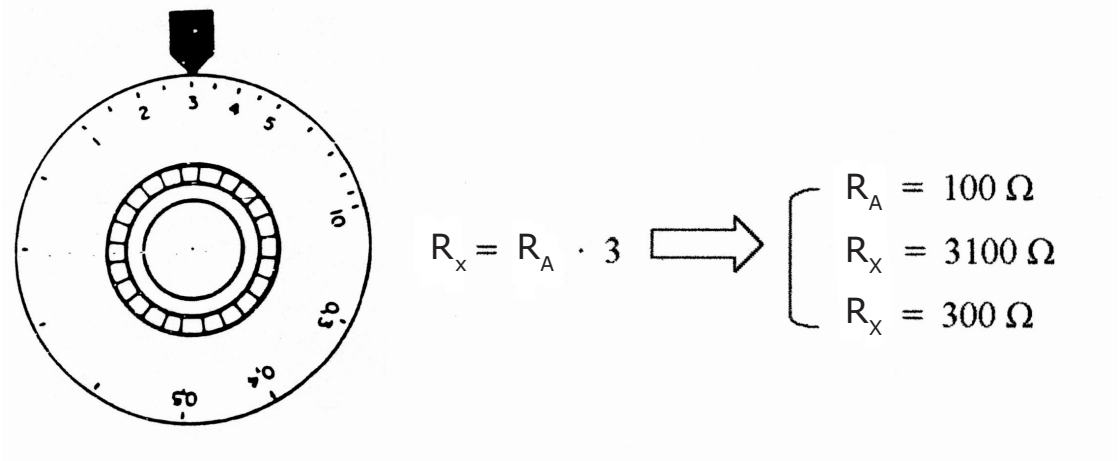


Fig. 58

Uma vez conectados os resistores, a chave de seleção do instrumento é selecionada para o voltímetro (para uma primeira medição).

Quando a chave de alimentação é ligada, o voltímetro fará uma indicação de tensão. Através do cursor do potenciômetro (que determina R_1 e R_2) procura-se um ajuste em que o voltímetro se posicione em "0V".

Feito isto, a chave seletora pode ser posicionada para o miliamperímetro (mais preciso) para um ajuste final. Quando o zero no miliamperímetro for ajustado, a relação entre R_x e R_A estará apresentada no dial do potenciômetro. Por exemplo:



Quando não é possível obter o "zero" no voltímetro, deve-se trocar o resistor padrão (R_A) de forma a obter a condição de equilíbrio da ponte.